

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA



**Tesis Doctoral**

EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO  
ISOINERCIAL EN LA PREVENCIÓN  
Y RECUPERACIÓN DE LESIONES  
MÚSCULO-TENDINOSAS


**Francisco Gámez Aragüez**

Málaga 2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

AUTOR: Francisco Gámez Aragüez

 <http://orcid.org/0000-0003-2497-4101>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización  
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): [riuma.uma.es](http://riuma.uma.es)





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA**  
**FACULTAD DE MEDICINA**  
**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIRUGÍA Y NUTRICIÓN**



**TESIS DOCTORAL**

**EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO ISOINERCIAL EN  
LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN DE LESIONES  
MÚSCULO-TENDINOSAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR:  
Francisco Gámez Aragüez

DIRECCIÓN:  
Dr. D. Alejandro Luque Suarez

Málaga, Enero de 2017



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Facultad de Medicina**

D. Alejandro Luque Suarez, Doctor por la Universidad de Málaga, Profesor Contratado Doctor del Departamento de Fisioterapia de la Universidad de Málaga.

CERTIFICA que el trabajo presentado como Tesis Doctoral por D. Francisco Gámez Aragüez, **EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO ISOINERCIAL EN LA PREVENCIÓN Y RECUPERACIÓN DE LESIONES MÚSCULO-TENDINOSAS**, ha sido realizado bajo mi dirección y considero que reúne las condiciones apropiadas en cuanto a contenido y rigor científico para ser presentado a trámite de lectura.

Y para que conste donde convenga, firmo el presente en Málaga, a 10 de Enero de dos mil diecisiete.

Fdo. Dr.: Alejandro Luque Suarez



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

A la memoria del Dr. D. Manuel García Caballero





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Alejandro Luque Suarez, por hacer fácil lo difícil, por su ejemplo, dedicación y ánimo para llevar a cabo este trabajo.

A D. Javier Martinez Calderón, por su gran apoyo durante la realización de esta tesis. Un gran compañero y amigo que tiene un futuro prometedor en la fisioterapia.

Al Dr. Manuel García Caballero (D.E.P.), por brindarme la posibilidad de iniciar este camino. Allá donde esté siempre le estaré agradecido.

A mis padres, que con su ejemplo y generosidad me han permitido llegar hasta aquí. A ellos se lo debo todo.

A Carmen, mi compañera del alma, no solo por su ayuda técnica, sino también, por todos los esfuerzos que ha hecho para que yo pudiera realizar este proyecto. Ejemplo de amabilidad, bondad, sacrificio y tantas cosas buenas que no terminaría nunca. Sin ella, esto no hubiera sido posible, con ella, todo es posible.

A mi hijo Manuel, por darle sentido a la vida.

Gracias a todas las personas que han participado de una u otra forma en la consecución de este sueño. Gracias de Corazón.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	19
<b>CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL</b>	22
2.1. La lesión músculo-esquelética en el ámbito deportivo.	23
2.2 La prevención de lesiones en el deporte.	24
2.3 Complejo músculo-tendón.	25
2.4. Tipos de contracción muscular.	38
2.5. El ejercicio excéntrico en la prevención y recuperación de lesiones mio-tendinosas.	39
2.6. Entrenamiento isoinercial.	53
2.7. Justificación de la tesis doctoral.	61
<b>CAPÍTULO III: OBJETIVOS</b>	65
<b>CAPÍTULO IV: REVISIÓN SISTEMÁTICA</b>	69
“Efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones deportivas de miembro inferior: Una revisión sistemática”.	
4.1. Resumen	69
4.2. Introducción	70
4.3. Método	71
4.4. Resultados	73
4.5. Discusión	82
4.6. Conclusión	84
<b>CAPÍTULO V: PROTOCOLO DE ESTUDIO</b>	
“Efectos del entrenamiento isoinercial en la tendinopatía del manguito de los rotadores: protocolo de estudio de un estudio controlado aleatorizado con un único ciego.”	
5.1. Introducción	87
5.2. Métodos	88
5.3. Discusión	99

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	103
CAPÍTULO VII: LIMITACIONES Y PROSPECTIVAS	111
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIÓN	115
CAPÍTULO XI: BIBLIOGRAFÍA	119
CAPÍTULO X: ANEXOS	145
CAPÍTULO XI: PUBLICACIONES	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

1. Esquema de las diferentes estructuras de los componentes fascial y músculo-tendinoso del aparato locomotor.	29
2. Lugar donde asientan los diferentes tipos de lesiones musculares.	30
3. Curva carga/deformación del tendón.	37
4. Mecanismo del dispositivo isoinercial.	53
5. Comparación de mecanismos de un sistema tradicional dependiente de la gravedad (A) y otro de resistencia inercial (B).	54
6. Diagrama de flujos del proceso de revisión.	74
7. Gráfico de riesgo de sesgo.	78
8. Resumen del riesgo del sesgo.	78

## ÍNDICE DE TABLAS

1. Secuencia de prevención de las lesiones deportivas.	24
2. Clasificación de la lesión muscular según el mecanismo de producción.	27
3. Clasificación de las lesiones musculares mediante resonancia magnética nuclear.	28
4. Clasificación de la lesión muscular en función de la zona muscular afectada.	31
5. Características de los estudios incluidos.	77
6. Resumen de los hallazgos y calidad de la valoración de la evidencia.	79
7. Visión general de los instrumentos de medición y tiempo de evaluación.	96

## INDICE DE IMÁGENES

1. Estructura jerárquica del tendón.	34
2. Modelo de dispositivo isoinercial.	55
3. Modelo de polea cónica excéntrica Versa Pulley.	56
4. Estiramiento del pectoral menor.	90
5. Estiramiento de los rotadores externos del hombro.	90
6. Estiramiento de la cápsula posterior del hombro.	90
7. Ejercicio de flexión de hombro con dispositivo isoinercial.	91
8. Ejercicio de extensión de hombro con dispositivo isoinercial.	91
9. Ejercicio de abducción horizontal con rotación externa de hombro con dispositivo isoinercial.	91
10. Ejercicio de rotación externa del hombro a 45° de abducción en posición lateral de hombro con dispositivo isoinercial.	91
11. Ejercicio de empuje hacia arriba contra pared.	91
12. Ejercicio de flexión de hombro con banda de resistencia elástica.	92
13. Ejercicio de extensión de hombro con banda de resistencia elástica.	92
14. Ejercicio de abducción horizontal con rotación externa de hombro con banda de resistencia elástica.	92
15. Ejercicio de rotación externa del hombro a 45° de abducción en posición lateral de hombro con banda de resistencia elástica.	92
16. Test de fuerza de los músculos rotadores laterales del hombro.	93
17. Test de fuerza del serrato anterior.	93
18. Test de fuerza del trapecio superior.	93
19. Test de fuerza del trapecio inferior.	93
20. Colocación de los electrodos en músculos trapecio superior e inferior para medición de la actividad de la musculatura escapular.	94
21. Colocación de los electrodos en músculos trapecio superior e inferior para medición de la actividad de la musculatura escapular con elevación de hombro.	94
22. . Prueba de resistencia de la musculatura escapular.	95





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

Con el paso de los años el conocimiento sobre determinados principios utilizados en un ámbito específico va creciendo a medida que se van incorporando los avances del uso de las nuevas tecnologías en el desarrollo de los mismos. Esto lleva a la optimización de estos principios y permite alcanzar cotas de evolución desconocidas hasta este momento, dando así, una nueva perspectiva en la aplicación y eficacia de los mismos.

En muchas ocasiones los avances que llegan al usuario final nacen de grandes proyectos de investigación que se llevan a cabo en las organizaciones más prestigiosas del mundo en su ámbito. Un ejemplo sería los numerosos progresos que se han llevado a cabo en el mundo de la automoción, como la fibra de carbono o la telemetría, y que han surgido a partir de tecnología previamente creada y desarrollada en las escuderías de la fórmula 1. Otro ejemplo sería la multitud de novedosos instrumentos, tales como la tomografía axial computarizada (TAC), los microchip o las lentes ópticas, que se han desarrollado y han evolucionado a partir de las investigaciones realizadas por las agencias aeronáuticas y aeroespaciales de todo el mundo.

Precisamente, es a partir de un concurso de ideas propuesto por la agencia americana aeroespacial y por la agencia europea del espacio (NASA y ESA por sus siglas en inglés) a principios de los años 80, como nace una de estas novedades que tiene que ver con el ámbito de la actividad física y la salud.

Dichas agencias pusieron en marcha diversas investigaciones porque necesitaban solucionar los problemas fisiológicos, de atrofia muscular y de pérdida de masa ósea que sufrían los astronautas que permanecían mucho tiempo en el espacio. Una de estas investigaciones se centró en el uso de la inercia como alternativa al entrenamiento de fuerza convencional, utilizando la sobrecarga excéntrica sin depender de la fuerza de la gravedad. Es así como surgió la idea de la creación de un dispositivo de entrenamiento de la fuerza con un sistema mecánico independiente de la gravedad y basado en la resistencia inercial ejercida por volantes que generaban la sobrecarga.

Esta herramienta, a la que llamaron Flywheel Exercise Device o Isoinertial Device (dispositivo con volantes inerciales o dispositivo isoinercial), y patentada con el nombre de YoYo Inertial Technology®, fue creada por los investigadores del departamento de fisiología del Instituto Karolinska de Suecia, Hans Berg y Per Tesch, a mediados de la década de los 90 y (Berg y Tesch, 1994).

A partir de la aparición de este tipo de dispositivos se extendió su uso en el ámbito de la mejora del rendimiento físico deportivo. Con el paso del tiempo, y como resultado de la evidencia obtenida en diferentes estudios científicos, su empleo ha ido evolucionando hacia el campo de la prevención y recuperación de lesiones.

Esta evolución se debe, entre otras cosas, a la posibilidad de obtener un estímulo de sobrecarga excéntrica, tan útil en estos ámbitos, sobre todo en patologías músculo-tendinosas.

En la actualidad está muy extendido el uso de los ejercicios excéntricos como método de entrenamiento dentro de los procesos activos de prevención y recuperación de lesiones, así como de la mejora del rendimiento. La literatura científica apoya con numerosos estudios la implementación de este tipo de ejercicios en los programas de rehabilitación o readaptación en un gran abanico de lesiones del aparato locomotor. Dentro de ellas, cabe destacar los protocolos utilizados para el tratamiento del tendinopatías y roturas musculares. En el tendón, por la influencia que la sobrecarga excéntrica tiene sobre los procesos de adaptación estructural y las propiedades mecánicas del mismo; y en el músculo, por el refuerzo excéntrico que añaden este tipo de estímulos a las propiedades fisiológicas del mismo, ya que la debilidad de la fase excéntrica muscular está considerado como un factor de riesgo intrínseco en la incidencia de lesiones musculares.

Una de las máximas por las que se rigen los profesionales dedicados a la actividad física y la salud es la búsqueda de la optimización de los recursos terapéuticos con el fin de obtener los mejores resultados en la prevención y en la recuperación de lesiones músculo-esqueléticas. A raíz de este planteamiento, y en función de la relación que se ha puesto de manifiesto anteriormente entre el entrenamiento isoinercial y la sobrecarga excéntrica, y entre esta y la prevención y recuperación de lesiones mio-tendinosas, surgen una serie de cuestiones que son las que motivan la realización de esta tesis.

Tras el desarrollo dentro del marco conceptual de todos los aspectos relevantes que tienen que ver con este trabajo, se ha realizado una revisión sistemática sobre el entrenamiento isoinercial y la prevención y recuperación de lesiones músculo-tendinosas para saber en qué situación real nos encontramos. Posteriormente, y ante el hallazgo de la falta de estudios sobre la efectividad de esta metodología en patología músculo-esquelética de miembros superiores, se ha llevado a cabo una propuesta para el diseño de un estudio de investigación relacionando estos dos conceptos, con el fin de desarrollar un protocolo de estudio que nos ayude a conocer la manera óptima de aplicación de esta nueva tecnología en la rehabilitación de una patología tendinosa del miembro superior.

## **CAPÍTULO II**

### MARCO CONCEPTUAL



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## 2.1. Lesión deportiva. Definición y tipo de lesiones.

Para definir el concepto de lesión deportiva, podemos elegir las definiciones de Van Manchelen y Chalmers (Van Manchelen, 1992; Chalmers, 2002). Van Manchelen define la lesión deportiva como un término relacionado a todo tipo de daño que se puede producir durante la práctica deportiva. Chalmers realiza una definición más detallada, utilizando el concepto de daño involuntario o intencional que se produce en el cuerpo de un sujeto como resultado de la participación en cualquier juego o actividad que suponga un esfuerzo físico para la diversión o el entretenimiento.

En el ámbito deportivo, la lesión está relacionada con todo tipo de daño músculo-esquelético que se produce durante un entrenamiento deportivo o una competición, y que tiene como resultado una restricción de dicha actividad durante al menos un día después de la lesión. A su vez, ésta lesión debe requerir la atención sanitaria por parte del cuerpo médico (Jungue, 2006; Fuller, 2007). También se debe tener en cuenta el alcance de la lesión desde un punto de vista psicológico, ya que en función de la gravedad de la misma, la lesión puede llevar al abandono esporádico de la práctica deportiva pero también el abandono de manera definitiva, lo que afectaría al futuro deportivo de la salud del deportista y su relación social (Buceta, 1996).

Se pueden clasificar las lesiones deportivas en función de diferentes parámetros de análisis, como son, la parte del cuerpo donde se produce la lesión, la estructura que resulte afectada y el mecanismo de lesión de la misma.

Si se clasifica la lesión en función de la parte del cuerpo afectado, se pueden tener lesiones de extremidades superior e inferior, lesiones de tronco o lesiones de cabeza con sus subdivisiones correspondientes si entramos en estructuras anatómicas más detalladas (Dick, 2007; Junge 2008).

Si la clasificación se realiza según la estructura afectada se pueden encontrar lesiones de partes blandas, como son músculos, tendones o ligamentos y en lesiones esqueléticas (Bahr, 2007).

En cuanto a la clasificación en función al mecanismo de lesión y el comienzo de los síntomas, las lesiones se pueden clasificar en lesiones agudas y crónicas. En las afectaciones agudas siempre hay un hecho traumático directo o indirecto que se produce al chocar con otro sujeto, con el suelo o con algún objeto. En estos casos el trauma vence las resistencias de los tejidos. Las lesiones crónicas, por el contrario, se producen por la repetición inadecuada de un determinado gesto deportivo que por el sobre esfuerzo o por algún desequilibrio intrínseco o extrínseco, origina una serie de micro traumatismos que llegan a vencer la resistencia del tejido. Se habla de lesión por sobrecarga o lesión por sobre uso (Pfeiffer, 2007).



## 2.2. La prevención de la lesión en el deporte.

La prevención de las lesiones deportivas supone un asunto de gran importancia en la salud y el rendimiento del deportista. Las lesiones en el ámbito deportivo representan una gran preocupación dentro del entorno social del jugador, no solo por el daño originado por la misma, sino también por su incidencia en la preparación y el estado de ánimo del mismo, así como el aumento de los costes económicos asociados a la lesión.

Las lesiones deportivas tanto profesionales como recreacionales tienen un coste muy elevado debido a la pérdida de días de trabajo que sufren los deportistas, así como los gastos médicos asociados al tratamiento de dichas lesiones (Shephard, 2001). Esta situación ha originado un interés en diseñar programas de trabajo preventivo para reducir el número de lesiones, con la consecuente contribución en la reducción de los costes económicos derivados de la misma (Cumps, 2008).

En 1992 Van Mechelen desarrolló un modelo para el diseño de tareas para prevenir lesiones que es utilizado como columna vertebral por numerosos investigadores a día de hoy en sus propuestas de prevención. Según el autor, cuando se planifica un programa de prevención de lesiones se deben establecer una serie de principios básicos para que este sea lo más ordenado y adecuado posible a las necesidades del deportista. En primer lugar, se deben describir las lesiones más habituales y su repercusión en la práctica deportiva. Posteriormente se debe profundizar en los mecanismos de producción de la lesión y sus factores asociados. A continuación se introducirán el conjunto de medidas y tareas para reducir el riesgo de sufrir una lesión teniendo en cuenta todos los factores asociados anteriormente detectados. Por último se evaluarían las medidas aplicadas, estableciendo una retroalimentación para su posterior análisis y aplicación. A partir de aquí se vuelve al paso primero variándolo con los conocimientos adquiridos en los pasos previos (Tabla 1).

a) Establecer el alcance del problema de las lesiones: Incidencia y Gravedad
b) Establecerla etiología y mecanismo de lesión
c) Introducir una medida preventiva.
d) Evaluar la eficacia mediante la repetición del paso a.

Tabla 1: "Secuencia de prevención" de las lesiones deportivas (Van Mechelen, 1992).

## **2.3. Complejo músculo-tendón.**

### **2.3.1. El músculo.**

El tejido muscular es el encargado de producir el movimiento de órganos y de segmentos óseos corporales (Ross 2007). En cuanto a su clasificación, el tejido muscular se puede dividir en esquelético, cardíaco o liso, de acuerdo al órgano sobre el que actúa, y en voluntarios e involuntarios, en función de la vía neural que utilicen para ser activados.

En el tema que nos ocupa, nos centraremos en el tejido músculo-esquelético, el cual está formado por células altamente especializadas que tienen la capacidad de contraerse. A esto se le suma el tejido conectivo, el tejido nervioso y los vasos sanguíneos. Estos se disponen y relacionan entre sí dando lugar a una configuración histo-arquitectónica característica determinada por la función del músculo. La contracción, potente y unidireccional, determina el alto grado de organización que se observa en sus diferentes niveles, tisular, celular y molecular (Fiorentino, 2012; Balias, 2005). El movimiento que podemos hacer con nuestros músculos es posible cuando todos ellos actúan de forma coordinada y sincronizada entre sí. Además de esto, lo que permite a los diferentes músculos realizar con éxito su función viene determinado por su forma, el tipo de movimiento en el que está involucrado y su posición.

El tejido muscular esquelético representa el componente contráctil y constituye el elemento predominante (90%) en la estructura del órgano. Se encuentra en estrecha asociación con el tejido conectivo, esencial para el mantenimiento de la integridad y la función adecuada del músculo (Balias, 2005). Por su parte, el tejido nervioso está íntimamente relacionado con el tejido muscular, creando una unidad funcional a través de la sinapsis especializada entre fibra nerviosa y fibra muscular. Finalmente, las altas necesidades energéticas que se requieren durante la contracción determinan que el músculo-esquelético posea una rica vascularización.

Funcionalmente hablando podemos dividir a los músculos en agonistas, si van a favor de movimiento y en antagonistas, si van en contra. Otra forma de dividirlos sería de acuerdo al número de articulaciones que atraviesa, hablaríamos entonces de músculos uni-articulares o bi-articulares (Ross, 2007).

#### **2.3.1.1 Arquitectura del músculo.**

La arquitectura muscular se define como la disposición macroscópica de las fibras musculares en el interior del músculo (Lieber, 2000), y viene determinada por el área de sección transversal fisiológica, por la longitud del músculo, los fascículos transversales y del sarcómero y por el ángulo de penación.

Se relaciona con factores intrínsecos del individuo (Binzoni, 2001; Chow, 2000) y está sometida a variaciones como respuesta al entrenamiento de fuerza y la inactividad (Kawakami, 1995; Narici, 1999). Estas variaciones consisten fundamentalmente en el aumento o disminución del grosor de la fibra muscular y la modificación del ángulo de penetración.

#### **2.3.1.2 Biomecánica muscular**

Al ser un tejido muy dinámico, su estructura es relativamente vulnerable a la lesión. Las lesiones musculares suponen el tipo de lesión más frecuente en el mundo del deporte, con un índice del 31% del total de lesiones y un 30% de re-lesiones (Ekstrand, 2008). Dada la gran variedad de grupos musculares y los múltiples factores que influyen en la lesión, el tiempo de recuperación de estas lesiones es muy variable incluso en lesiones que se ocasionan en el mismo músculo o grupo muscular (Ekstrand, 2011).

Los grupos musculares más afectados son los de las extremidades inferiores. En primer lugar los isquiosurales, seguidos por el cuádriceps, en tercer lugar los aductores y por último el complejo del tríceps sural (Ekstrand, 2011).

#### **2.3.1.3. Clasificación de la lesión muscular**

La clasificación de las lesiones musculares es fundamental para su comprensión. Se pueden clasificar de diversas maneras, que además son complementarias entre ellas y nos ayudan a comprender las dimensiones de las mismas y su pronóstico (Ekstrand, 2011; Häggglund, 2010; Mueller-Wohlfahrt, 2013).

Se puede clasificar según el mecanismo de producción. Esta clasificación proporciona una clara noción de la gravedad y el pronóstico de la lesión. Pueden observarse lesiones musculares por mecanismo directo, debido a contusiones más o menos importantes, lesiones musculares por mecanismo indirecto o estiramiento y el dolor muscular de inicio tardío (DOMS por sus siglas en inglés) (Tabla 2).

Mecanismo de Producción	Directo (según clínica)	Grado 1. Arco movilidad conservado
		Grado 2. Arco movilidad limitado <50%
		Grado 3. Arco movilidad limitado >50%
	Indirecto (según ecografía y/o RM)	Grado 0. Antecedente lesión: no concreto. Exploración física: anodina. Imagen: negativa.
		Grado 1. Antecedente lesión: no concreto. Exploración física: anodina. Imagen: edema.
		Grado 2. Antecedente lesión: Concreto. Exploración física: específica. Imagen: disrupción muscular
		Grado 3. Antecedente lesión: Concreto y brutal. Exploración física: aparatosa o imposible. Imagen: Ruptura muscular o avulsión
	Dolor Muscular Post-esfuerzo	De agujetas a rabdomiólisis

Tabla 2: Clasificación de la lesión muscular según el mecanismo de producción.

Las lesiones por mecanismo directo pueden clasificarse a su vez en función de la limitación de la movilidad que producen en las articulaciones vecinas. Se considera una lesión de grado 1 cuando el dolor no limita la movilidad articular; de grado 2, cuando la limitación supera el 50% del arco fisiológico de la articulación vecina y de grado 3, cuando la limitación supera éste 50%. Por tanto, ante una contusión en un muslo, el grado 1 permite la flexión completa de la rodilla, el grado 2 la flexión supera los 90° pero no es completa y en el grado 3 la rodilla es incapaz de alcanzar estos 90°.

Las lesiones musculares por mecanismo indirecto se valoran inicialmente mediante anamnesis y exploración clínica. Así, en el grado 1, la circunstancia en el que acontece el accidente no es concreta y la exploración prácticamente anodina; en el grado 2, la exploración clínica es más específica y el antecedente de la lesión detallado; finalmente, en el grado 3, la circunstancia accidental suele ser muy precisa y la exploración muy aparatosa o, si existe un gran componente flogótico, imposible de realizar. Además de realizar esta exploración clínica, para poder emitir un buen diagnóstico es muy útil la utilización de distintos métodos complementarios, básicamente la ecografía y/o la resonancia magnética (RM). A partir de estas pruebas las lesiones musculares por mecanismo indirecto se dividen en grado 0 (pruebas complementarias negativas), 1 (evidencia de edema), grado 2 (disrupción muscular) y grado 3 (ruptura muscular completa, avulsión) en función de la afectación de fibras musculares observada en las diferentes pruebas complementarias. Esta clasificación fue propuesta por Peetrons (Peetrons, 2002) usando ultrasonidos y posteriormente Davis (Davis, 2008) que la adaptó al estudio por RM. (Tabla 3).

Grado 0	Ausencia de imagen patológica usando ecografía o RM, a pesar de un diagnóstico clínico de lesión.
Grado 1	Elongación mínima con menos del 5% de músculo implicado.
Grado 2	Rotura muscular parcial, que afecta entre un 5% y un 50% de volumen muscular o área.
Grado 3	Rotura muscular completa. Normalmente estas lesiones son clínicamente muy evidentes ya que la masa muscular afectada forma una masa visible con un hachazo distal a ésta, fácilmente palpable.

Tabla 3. Clasificación de las lesiones musculares mediante RM descrita por Davis (Davis, 2008) y aplicada especialmente a la musculatura isquiosural. Davis propuso esta clasificación a partir de la de Peetrans (Peetrans, 2002) para la ecografía.

Según la zona anatómica afectada. Para comprender la localización exacta de la lesión muscular hemos de tener en cuenta que el aparato locomotor posee un componente fascial y un componente músculo-tendinoso (Figura 1). El componente fascial, es estructural y está formado por elementos conectivos (epimisio, perimisio y endomisio).

El componente músculo-tendinoso es funcional y dinámico, y lo forman los tendones y las aponeurosis como transmisores de fuerza, así como la fibra muscular como elemento contráctil. A efectos de la clasificación de la lesión muscular, aponeurosis y tendones tienen una misma trascendencia clínica, por lo que en la literatura se habla indistintamente de ellos (Lieber, 2000).

Para entender el comportamiento y las consecuencias de la patología del sistema músculo-esquelético, también es importante tener en cuenta la fascia superficial y fascia profunda (Yablonka, 2011). La Fascia Superficial es la capa que lo envuelve inmediatamente por debajo de la piel; es decir, la capa grasa subcutánea, formada por la propia grasa y por tejido conectivo denso y laxo. En ocasiones, esta capa superficial se encuentra estratificada con tejido laxo profundo y denso superficial, separadas por una capa conectiva, igualmente llamada por algunos autores como “fascia superficial”.

La Fascia Profunda es la capa de tejido conectivo denso más externa y que modela a modo de carcasa los tejidos subyacentes, separando grupos musculares según su función. También puede contener subcapas de tejido conectivo laxo. En relación con el músculo existen dos variantes descritas. La fascia profunda puede envolver al epimisio; en este caso, entre el epimisio y la fascia profunda existe una subcapa de tejido conectivo muy laxo, rico en proteoglicanos y hialuronato, fácilmente desplegable bajo un aumento de presión intratisular. Las lesiones a este nivel serán capaces de “despegar”, es decir, “disecar” con facilidad estas subcapas, acumulando líquido hemático en forma de hematoma. Este tipo de lesión se ha convenido en

llamarla “miofascial”. Por contra, la fascia profunda también puede encontrarse en contacto directo con el músculo e incluso desarrollar septos intramusculares; en este caso no puede diferenciarse claramente fascia y epimisio y la fibra muscular se une directamente a dicha fascia profunda mediante fuertes anclajes.

El epimisio es una estructura de múltiples capas de colágeno de disposición irregular que envuelve individualmente a los músculos y que contiene también capas de tejido conectivo denso y laxo. El epimisio también recubre a las aponeurosis, aunque a diferencia de su relación con el músculo, no se une directamente a las mismas. Cuando el epimisio deja de relacionarse con el músculo o aponeurosis y lo hace con el tendón, pasa a llamarse paratendón, o se especializa formando las vainas sinoviales (Gillies, 2011).

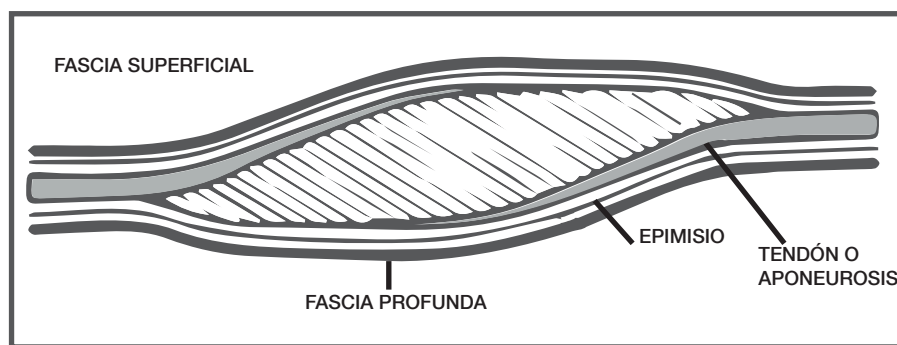


Figura 1. Esquema que muestra las diferentes estructuras de los componentes fascial y músculo-tendinoso del aparato locomotor.

En cuanto al componente dinámico, existen dos tipos de aponeurosis: la externa y la interna. La aponeurosis externa consta de tejido conectivo aplanado en varias capas superpuestas de diferentes sentidos que terminan en estructuras conectivas, tales como un periostio (caso del sartorio) o una fascia profunda (caso del lacerto fibroso del bíceps braquial). Por el contrario, una aponeurosis interna suele terminar directamente en el músculo, ya sea en el interior de éste (llamada tendón o aponeurosis central) o en la periferia del mismo y que es conocida como músculo-tendinosa (Macintosh, 2006; Lieber, 2000).

A partir del conocimiento de los componentes fascial y músculo-tendinoso del aparato locomotor, es posible clasificar las lesiones en función de la zona muscular afectada. Esta división toma especial relevancia en las lesiones por mecanismo indirecto. Este tipo de lesión suele afectar músculos poli-articulares del esqueleto y habitualmente por una contracción excéntrica.

Una lesión se puede situar en la unión tendo-perióstica, en el componente músculo-tendinoso (unión músculo-tendinosa), o en el componente miofascial (unión miofascial), siendo las de peor pronóstico las músculo-tendinosas (Figura 2).

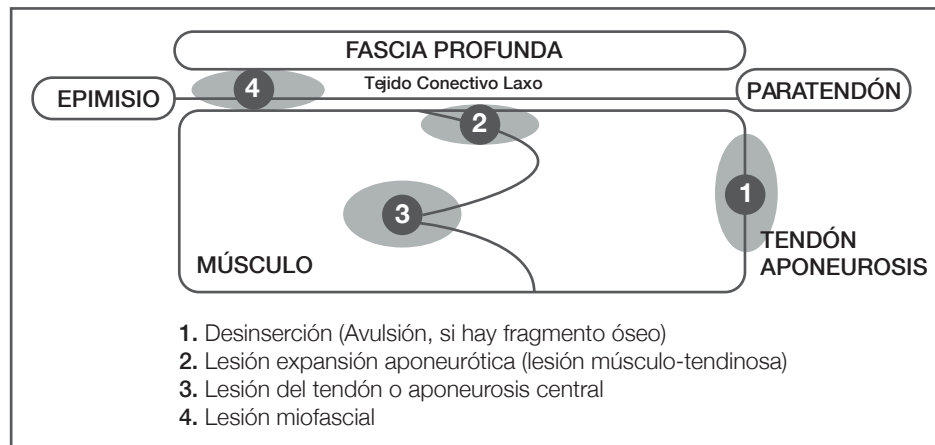


Figura 2. Lugar donde asientan los diferentes tipos de lesiones musculares.

Dentro de las lesiones tendo-periósticas, existen la avulsión, si existe un arrancamiento óseo asociado, o la desinserción si la lesión es únicamente tendinosa.

La zona más débil de la cadena hueso-tendón-músculo es la unión miotendinosa y será en este punto donde se producirán la gran mayoría de las lesiones. La lesión de la “unión músculo-tendinosa” (UMT) puede afectar tanto la unión de un tendón como de una aponeurosis con el músculo-esquelético. A pesar de las diferencias histológicas, a efectos de clasificación de lesión muscular, los conceptos “tendón” y “aponeurosis” son superponibles.

La lesión muscular afecta siempre la unión músculo-tendinosa. Si afecta exclusivamente esta unión nos referimos a ella como lesión músculo-tendinosa. En este caso, la lesión puede afectar una expansión aponeurótica o tendinosa o puede afectar una aponeurosis o tendón intramuscular. Por otro lado, si la lesión de la unión músculo-tendinosa lesionada está tan cercana al componente fascial que lo afecta, nos referimos a ella como lesión miofascial.

En función de la estructura de estos tejidos fibrocolagenosos, se puede observar la lesión en tendones o expansiones aponeuróticas periféricas o que alcanzan el espesor de un músculo (tendón o aponeurosis central). La rotura que interesa una expansión aponeurótica periférica es la conocida igualmente como “unión músculo-tendinosa”. Suele producirse a nivel de la musculatura isquiosural en su mitad superior, en la expansión aponeurótica superficial del recto anterior o en el aductor mediano. Son con mucho las lesiones músculo-tendinosas más frecuentes y su pronóstico depende del tamaño del defecto y de la proximidad a su anclaje en el hueso (Tabla 4).

Componente Téndino-Perióstico	Avulsión Desinserción
Componente Músculo-Tendinoso (Músculo-Aponeurótica)	Expansión aponeurótica periférica: Lesión músculo-tendinosa
	Aponeurosis Central: Lesión del tendón o aponeurosis central
Componente Miofascial	Lesión Miofascial

Tabla 4. Clasificación de la lesión muscular en función de la zona muscular afectada. A pesar de las diferencias histológicas, a efectos de clasificación de lesión muscular, el concepto “tendón” y “aponeurosis” son superponibles.

La lesión de la “unión músculo-tendinosa” que se sitúa a nivel de una aponeurosis central, conocida como lesión del “tendón central”, de la “aponeurosis”, o del “tendón intramuscular” tiene un pronóstico variable puesto que la tracción repetida de ésta puede producir recidivas con relativa facilidad. Es típica del tendón central del recto femoral y también se observan en el aductor mediano, el músculo recto interno del muslo y el músculo sóleo.

La lesión miofascial es una lesión músculo-tendinosa en la que existe un gran componente de “despegamiento” entre fascia y epimisio o entre dos fascias, debido a que la disrupción está muy cercana a éstas. Su pronóstico depende de si a este componente de “despegamiento” se asocia a una mayor o menor disrupción de tejido conectivo. Es característica de la cabeza medial del gastrocnemio respecto al sóleo y con menor frecuencia entre la fascia profunda del recto femoral respecto el vasto intermedio. Son lesiones proclives a desarrollar hematomas miofasciales entre los dos músculos y en formar cicatrices laminares.

#### 2.3.1.4. Mecanismo de producción de la lesión muscular.

En términos biomecánicos se ha definido un modelo dinámico de comprensión basados en los modelos de Meeuwisse, 1994 y McIntosh, 2006, que ayuda en la interpretación del proceso de lesión. El modelo dinámico multifactorial de lesiones deportivas distingue dos áreas: una relativa a los factores de riesgo y otra al mecanismo de lesión. Según este modelo, los factores de riesgo intrínsecos actúan como factores predisponentes. Los factores de riesgo extrínsecos actúan sobre un deportista ya predispuesto. No obstante, la existencia de ambos tipos de factores, de por sí, no son suficientes para producir lesión. Es necesaria la exposición a una situación determinada (factor desencadenante) para que la lesión aparezca.

El mecanismo de lesión es la descripción de dicha situación en términos biomecánicos, pero es importante añadir información que resultará relevante en la descripción mecánica y, sobretudo, en la prevención. La situación de juego, el momento de la temporada o de la competición, el nivel técnico, la existencia de contacto o no, la



intensidad del trabajo, la fatiga, entre otros, son datos no estrictamente mecánicos que serán relevantes en la comprensión de la lesión y en la planificación de la prevención (Murphy, 2003; Croisier, 2002).

La alteración del estado del balance muscular y de la coordinación, la fatiga muscular y el grado de elasticidad son factores predisponentes a tener en cuenta. La fatiga muscular alta aumenta el riesgo de lesión, especialmente si se combina con trabajo excéntrico. Durante la fatiga muscular se produce una disminución de la capacidad de absorber energía (amortiguación) y de generar tensión en la contracción excéntrica, manteniéndose normal la capacidad de alargamiento del músculo hasta el momento en que se produce lesión o ruptura. En trabajos experimentales con animales se observa que la mayor parte de la reducción de la capacidad de amortiguación se produce en la primera parte de la contracción excéntrica o alargamiento activo. De hecho, el músculo no fatigado realiza el mismo trabajo durante un alargamiento activo hasta el 50% del necesario para producir ruptura que el fatigado estirado activamente hasta el 70% de la ruptura. Es decir, el músculo fatigado debe estirarse más para ejercer la misma acción amortiguadora (Mair, 1996). La alteración de la contractilidad juega, pues, un papel fundamental como factor predisponentes en la producción de lesión, más que la alteración de la capacidad de elongación.

### **2.3.2. El tendón.**

#### **2.3.2.1. Anatomía e histología.**

La complejidad de la patología del tendón exige conocer su estructura y su biomecánica. Existen cuatro tipos fundamentales de tejido en el cuerpo humano: epitelial, muscular, nervioso y conjuntivo. El tejido tendinoso pertenece a éste último.

Desde el punto de vista macroscópico, los tendones sanos son blancos, brillantes y rígidos, pero con cierto grado de flexibilidad. Dentro de la macro estructura del tendón, se distinguen tres regiones: la unión musculo-tendinosa (UMT), el cuerpo del tendón y la unión osteo-tendinosa (UOT) (O'Brien 2005, Khan 1999, Maganaris 2005, Jurado 2008)

Microscópicamente, están compuestos por fibroblastos o tenocitos, colágeno, tejido conjuntivo y matriz extracelular o sustancia fundamental.

Tenocitos o Fibroblastos: los tenocitos son las células integrantes del tejido tendinoso que sintetizan todos los componentes extracelulares del tendón. Se caracterizan por ser ricos en organelas responsables de la síntesis y transporte de proteínas, pero a pesar de esta función esencial, los tenocitos aparecen en escasa cantidad en el tendón. Tienen un cociente respiratorio bajo, que indica que su metabolismo también lo es. Su forma es fusiforme y su sección transversal es estrellada con ramificaciones que se prolongan entre las fibras de colágeno. No están regulados de forma central, sino que reaccionan a estímulos locales. Las fuerzas mecánicas los deforman y provocan en ellos una respuesta, modificando su forma, su función, su composición

e incluso parece que son capaces de comunicarse entre sí en respuesta a dicha fuerza (Obrien 2005, Khan 1999).

**Colágeno:** el tejido conectivo tiene una gran capacidad para soportar tensión y esto se debe a la configuración de la molécula de colágeno. El colágeno en el tendón lo sintetizan los fibroblastos. La proteína de colágeno está formada por una cadena de polipéptidos en forma de triple hélice. Se identifican 13 tipos de colágeno en los distintos tejidos del cuerpo humano, en el tendón hasta 5 tipos, siendo la mayoría colágeno Tipo I y supone el 70-80% del peso seco del tendón (Obrien 2005, Khan 1999, Maganaris 2005, Jurado 2008).

El metabolismo del colágeno es lento, debiendo existir un equilibrio entre su síntesis y su destrucción. Para ello, el tendón necesita aporte de nutrientes como proteínas, carbohidratos, vitaminas (sobre todo la C), minerales como el hierro, cobre, zinc y manganeso. El proceso de síntesis de colágeno se acentúa en ciertas situaciones como en las 24-72 horas post-ejercicio o en procesos de lesión-reparación (Alfredson 2005).

**Elementos de unión - enlaces cruzados:** las moléculas de colágeno se mantienen unidas entre sí por enlaces químicos llamados enlaces cruzados. Estas moléculas están unidas tanto a nivel intramolecular como intermolecular. Estos enlaces cruzados son importantes para la fuerza tensil del colágeno, lo hacen más fuerte y con mayor capacidad para absorber energía, aumentando así su resistencia. Estas sustancias químicas de los enlaces se producen durante el metabolismo normal y son renovadas durante la primera etapa de la vida, pero se acumulan en etapas posteriores, de ahí que los tendones a lo largo de la vida se vuelvan más rígidos y menos elásticos (Obrien 2005, Khan 1999)

**Tejido conjuntivo:** La menor unidad funcional en el tendón son las fibrillas de colágeno, las cuales se disponen en haces paralelos rodeados por sustancia fundamental o matriz extracelular. Estas fibrillas se agrupan en haces primarios rodeados de tejido conjuntivo que recibe el nombre de endotendón. La unión de varios haces primarios conforman el fascículo o haz secundario. Éste transporta los vasos sanguíneos y linfáticos, así como la inervación hasta el tendón y a través del mismo. Constituye el sistema más importante para la irrigación del tendón. Otra de sus funciones es permitir que se produzca cierto movimiento entre los haces de colágeno mientras las fibrillas de colágeno permanecen unidas entre sí. La unión de varios fascículos que se agrupan para formar el tendón está rodeada por el peritendón. Éste a su vez contiene dos capas de tejido conjuntivo; el paratendón y el epitendón, lo cual permite mayor deslizamiento de los fascículos (Imagen 1), (Maganaris 2005, Jurado 2008).

Estas estructuras peritendinosas pueden variar dependiendo de las fuerzas mecánicas a las que está sometido el tendón y la fricción con estructuras vecinas. Por ejemplo, el paratendón puede oscilar desde una estructura sencilla de tejido conjuntivo laxo

(como en el tendón rotuliano), hasta una vaina de membrana sinovial (como en los tendones peroneos).

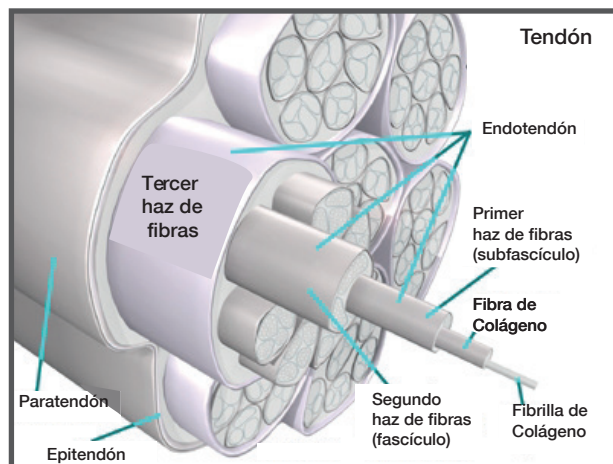


Imagen 1: Estructura jerárquica del tendón (modificado de Bahr, 2007)

**Sustancia Fundamental o Matriz extracelular:** La matriz extracelular es una sustancia amorfa que contribuye de manera importante a la integridad mecánica del tendón, al desarrollo de los tejidos, a su organización y al control de su crecimiento. Está compuesta por una mezcla de agua, proteoglicanos y glucosaminoglicanos. Es el medio en el que se difunden los nutrientes y gases necesarios para el correcto funcionamiento de las células tendinosas y su metabolismo, ayudando a sintetizar las fibras de colágeno que son el esqueleto del tendón, siendo también la responsable de sus propiedades viscoelásticas y de la resistencia a la compresión del tendón (Butler 1978, Cook 2005).

Los glicosaminoglicanos (GAG) representan sólo el 1 % del peso seco del tendón, pero son importantes ya que son moléculas capaces de retener agua, la cual constituye aproximadamente el 75% del peso total del tendón. El proteoglicano más abundante es la decorina. Los GAG se pueden combinar entre ellos o con proteínas para formar glicoproteínas del tipo fibronectina, elastina o tenascina C fundamentales, para mantener la matriz extracelular. La elastina es la encargada de proporcionar cierto grado de elasticidad al tendón.

No todos los tendones tienen una composición uniforme en toda su longitud, sino que tienen variaciones locales en cuanto al contenido de agua, GAG y colágeno, que le permiten ajustarse a las particularidades biomecánicas en su recorrido (Kirkendall 1997, O'Brien 2005).

### 2.3.2.2. Vascularización del tendón.

Hasta comienzos del siglo XX el tendón fue considerado un elemento avascular y metabólicamente inactivo. Pero en 1916 se demostró el aporte vascular al tendón mediante una infiltración de colorante, admitiéndose entonces que el tendón recibe aporte sanguíneo procedente del mesotendón. Fue en 1965, a partir de los trabajos de Smith (Smith 1965), cuando se le atribuyó al tendón una actividad metabólica propiciada por su vascularización.

En la actualidad se conoce que la irrigación en el tendón proviene de tres zonas: de la unión miotendinosa (UMT), de la unión osteotendinosa (UOT) y de los vasos del tejido conectivo circundante. De esta última procede el principal aporte sanguíneo al tendón (Clark 2000). En la UMT, los vasos sanguíneos del músculo continúan entre los fascículos del tendón y son del mismo tamaño que en el músculo, siendo una zona raramente afectada por tendinopatías. En el cuerpo del tendón, el aporte vascular llega vía paratendón o a través de la vaina sinovial pero que no llega a penetrar en la estructura tendinosa como tal. Son vasos de menor calibre por lo que esta zona está peor perfundida y es más sensible a la lesión. Los vasos que irrigan la unión osteo-tendinosa (UOT) proceden de las dos estructuras, tanto del hueso como del tendón, pero no se comunican entre ellos debido a la presencia de una membrana fibrocartilaginosa que existe entre ambos. El aporte sanguíneo y por tanto de nutrientes en esta zona es menor y no contribuye a la vascularización del cuerpo del tendón (Rathbun 1970, Jurado 2008).

Es muy importante destacar que se ha planteado la hipótesis de que algunos tendones sanos presentan una serie de áreas hipovasculares críticas debidas a la anatomía de los vasos y del tendón. Estas zonas serían más propensas a sufrir lesiones y se encuentran localizadas fundamentalmente en el tendón del tibial posterior, a la altura del maléolo interno, en el tendón de aquiles, a unos 3-4 cm. por encima del calcáneo y en el tendón del supraespinoso en la unión del tercio medio y del tercio externo (Jarvinen 1997).

### 2.3.2.3. Inervación del tendón.

La inervación tendinosa es esencialmente aferente de tipo propioceptivo. Se han encontrado 4 tipos de receptores en el tendón: Los corpúsculos de Ruffini, que son receptores que reaccionan a los cambios de presión, los corpúsculos de Paccini, que también reaccionan a la presión pero son más rápidos, respondiendo en los movimientos de aceleración y deceleración, los Órganos tendinosos de Golgi, que son mecanorreceptores que convierten la deformación mecánica en información nerviosa aferente y las terminaciones nerviosas libres que son nociceptores de adaptación lenta (Freeman 1967, Jozsa 1997).

Las fibras nerviosas que se encuentran en el tendón provienen de la unión miotendinosa y penetran en el paratendón y epitendón pero no llegan a introducirse dentro del espesor del tendón. En el cuerpo del tendón la inervación es escasa. Esto

podría explicar que ante una tendinopatía crónica del cuerpo del tendón, éste pueda ser asintomático. En varios estudios de Alfredson se han encontrado terminaciones nerviosas libres en procesos crónicos asociados a neovascularización (Alfredson 2005 y 2007, Koen 2005)

#### **2.3.2.4. Propiedades biomecánicas del tendón.**

Mecánicamente, el tendón puede ser considerado como una estructura compuesta de fibrillas de colágeno paralelas dispuestas longitudinalmente, embestidas en una matriz (Ker, 2007). Están diseñadas para resistir grandes fuerzas de tensión y para esta función, el colágeno presenta una estructura particular tanto a nivel microscópico como a nivel macroscópico. Además, los tendones muestran un punto concreto de extensibilidad, lo cual se debe a la configuración del colágeno y a la presencia en su composición de fibras elásticas. Así mismo, los tendones son muy resistentes a la elongación y poseen gran capacidad elástica, por lo que pueden asumir el cambio de dirección de la tracción (O'Brien, 1992).

En aquellos tendones en los que se producen fuerzas de tensión en múltiples direcciones, los haces de fibras de colágeno se disponen entrecruzados. Por el contrario, en los tendones en que las fuerzas aplicadas son unidireccionales, las fibras de colágeno muestran una disposición paralela y ordenada en el sentido de la aplicación de dichas fuerzas. Los tendones se someten a la acción del músculo al que corresponden a través de la unidad músculo tendinosa correspondiente, por lo que la disposición del tendón respecto al músculo dependerá de la función de este último. Si la tensión muscular es ejercida en una sola dirección, la disposición de las fibras tendinosas será más paralela y en el sentido del eje de tracción. Esta situación se da en los tendones que dependen de músculos fusiformes por la fuerza que se aplica en sentido longitudinal, a diferencia de los músculos peniformes (Jurado y Medina, 2008).

Hay algunos tendones que sufren una torsión previa a su inserción, lo que determina un incremento de su fuerza de tracción. Estas zonas de máximo estrés son las que están peor vascularizadas, debido en parte, a las fuerza de compresión intrínsecas generadas por el efecto de la torsión. Esta situación provoca que estas zonas de torsión sean las zonas del tendón más propensas a lesionarse (McConnell, 1998; Carr, 1989).

El tendón posee dos propiedades mecánicas fundamentales, la fuerza y la deformación (Jurado y Medina 2008). La fuerza, independientemente de la tensión máxima que pueda ejercer el músculo, depende del grosor del tendón y de su contenido de colágeno. Las fuerzas externas aplicadas al tendón son resistidas internamente por medio de sus enlaces moleculares, y éstas pueden ser tensiles, compresivas y de torsión o cizallamiento. Las tensiles son las fuerzas de estiramiento que siguen el eje longitudinal del tendón y lo alargan. Las que son aplicadas en el eje longitudinal

en el sentido del acortamiento del tendón son las fuerzas compresivas y por último, las fuerzas de torsión o cizallamiento que son las que van perpendiculares al eje longitudinal del tendón (Fyfe, 1992).

Como hemos comentado anteriormente, el tendón puede ser considerado como una estructura compuesta por fibrillas de colágeno paralelas, dispuestas longitudinalmente y envueltas dentro de una matriz a la cual se ensamblan. Durante la aplicación de una carga externa, se crea dentro del tendón una tensión de cizalla entre la matriz y las propias fibrillas que se transfiere posteriormente a todo el tendón. En la fibrilla, esta tensión de cizalla se transmite desde la zona central, donde se produce la máxima tensión, hasta los extremos, cuya tensión es mínima debido a la configuración cónica que presentan en este punto. Sin embargo, en la matriz del tendón a su paso por la zona central de la fibrilla, la tensión es nula, mientras que en los extremos cónicos de la misma, la tensión en la matriz es máxima.

El tendón, tras someterse a una carga dinámica externa, muestra una respuesta viscoelástica no lineal, lo que refleja en gran medida la estructura que lo compone. Esta característica ha sido descrita gracias a los resultados obtenidos en estudios realizados in vitro sobre tendones aislados que han sido sometidos a cargas de elongación hasta su rotura. Estos estudios realizados por Butler en 1978, sobre la aplicación de cargas sobre el tendón, dieron lugar al concepto que hoy se conoce como curva de estrés/tensión o carga/deformación (Butler, 1978). El estrés es la cantidad de carga por unidad de sección transversal, mientras que la tensión se describe como la elongación temporal que ocurre cuando el estrés es aplicado dentro de los límites fisiológicos del tejido (Jurado y Medina, 2008).

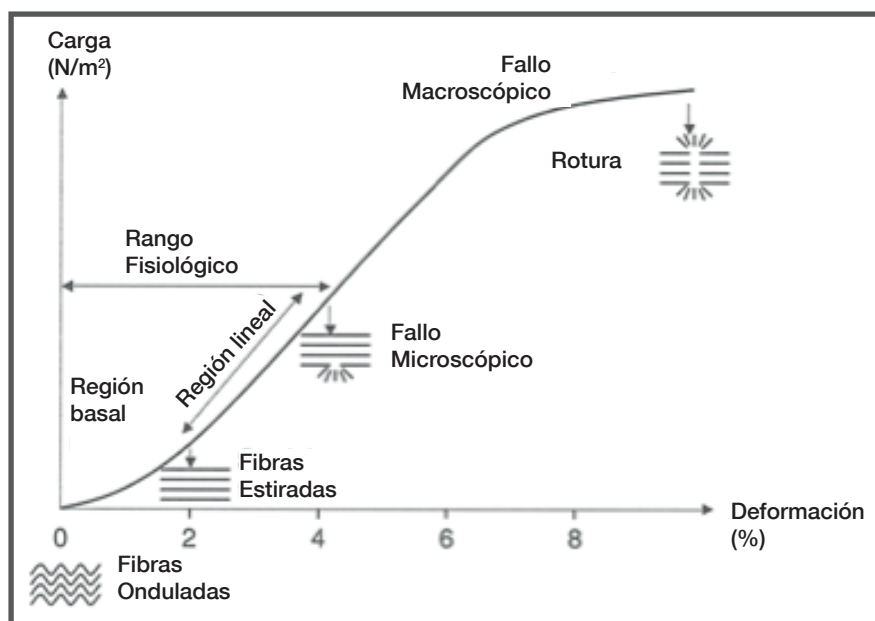


Figura 3: Curva carga/deformación del tendón (Modificada de Wang 2006)



Esta curva carga/deformación presenta cuatro partes bien diferenciadas (figura 3). Cuando se somete al tendón a una carga inicial inferior a 20 MPa, la curva carga/deformación proyecta una configuración ondulada no lineal que responde a un estiramiento del patrón engarzado de las fibras de colágeno y a las propiedades elásticas del tendón. Esta zona no lineal representa elongaciones en el tendón del orden de un 2% respecto a su longitud en estado basal (Ker, 2007). Si seguimos sometiendo al tendón a cargas superiores (entre los 15-25 MPa), se produce una alineación completa de las fibras de colágeno y la curva carga/deformación proyecta una configuración completamente lineal (Ker, 2007). Esta región de la curva representa el rango fisiológico de elasticidad del tendón y el valor de su pendiente es el denominado módulo de Young del tendón (Wang, 2006). Al someter al tendón a cargas de este tipo, se produce una elongación de hasta un 4% más de su longitud basal y el tendón hasta este punto podrá recuperar su longitud inicial gracias a sus propiedades elásticas. En el caso de que se supere esta elongación, se producirán daños estructurales microscópicos en la fibra del tendón que provocarán una deformación plástica permanente, no pudiendo por lo tanto alcanzar su longitud inicial (Magnusson, 2003).

La tercera parte de la curva carga/deformación se produce cuando el tendón es sometido a una carga que hace que alcance una longitud entre un 4% y un 8% de su longitud inicial. En esta parte se produce un deslizamiento de las fibras de colágeno debido a la rotura de los puentes cruzados. Esta zona es lo que se conoce como deformación plástica y aquí el tendón trabaja de forma muy eficaz debido a que es capaz de transmitir gran tensión al hueso y sufrir sólo una pequeña deformación (Stanish, 1986). Por último, la última parte de la curva corresponde a elongaciones del tendón por encima del 8% de su longitud inicial. Aquí se suceden roturas macroscópicas en las fibras del tendón y pequeñas variaciones de la carga se corresponden con deformaciones importantes (Kastelic, 1980).

Los tendones poseen otra propiedad mecánica que es la capacidad de disipación de la energía. Si se elonga un tendón hasta alcanzar el pico de estiramiento y posteriormente se le permite recuperar su tamaño inicial con desplazamiento constante, ambas curvas, de estiramiento y relajación, no coinciden en sus resultados, sino que entre ambas existe un área que representa la energía perdida durante el ciclo de elongación/relajación (Butler, 1978).

## 2.4 Tipos de acciones musculares.

Los músculos están formados por una complicada red de sub-estructuras que van desde los fascículos hasta la unidad contráctil más básica, denominado sarcómero, pasando por las fibras y las miofibrillas (Kraemer 2007). En el sarcómero se encuentran las proteínas contráctiles actina y miosina. Estas, al interaccionar, producen tensión o contracción que dependiendo de la relación entre la fuerza generada y la resistencia a vencer, pudiendo provocar tres diferentes acciones.

#### **2.4.1. Acciones musculares isométricas.**

En las acciones isométricas existe producción de tensión sin modificaciones evidentes en la longitud del músculo, ni en el ángulo articular, de aquí viene su significado formado por el prefijo griego iso- que significa igual y el vocablo -métrio que hace referencia a la longitud (Ratamess, 2012). Este tipo de acciones se da porque la resistencia externa a la que se opone el músculo no es vencida por la fuerza que se aplica sobre ella (Kraemer, 2007). El objetivo fundamental de las acciones isométricas está en el mantenimiento de las posiciones corporales y en la estabilización articular.

#### **2.4.2. Acciones musculares concéntricas.**

En este tipo de contracciones, el músculo produce más fuerza que la resistencia que se quiere vencer y por esto se ocasiona el acortamiento de las fibras musculares, la reducción de los ángulos articulares y el consiguiente acercamiento de las palancas (Knuttgen 2003; Ratamess, 2012).

Las acciones concéntricas constituyen la clásica explicación, que se ha hecho desde la fisiología, sobre los mecanismos moleculares de la contracción muscular, donde se plantea que esta ocurre cuando el potencia de acción alcanza el sarcolema y los iones de calcio pasan del retículo sarcoplasmático a unirse a la troponina, que modula la tropomiosina y deja libres los sitios activos de la actina, donde las cabezas de la miosina se fijan provocando el deslizamiento de la miosina sobre estos filamentos de actina, dando lugar al acortamiento del sarcómero (Knuttge 2003; Kraemer 2007).

#### **2.4.3. Acciones musculares excéntricas.**

El concepto “excéntrico” fue introducido por primera vez en 1953 por Asmussen, que lo definió diciendo que cuando la magnitud de la carga aplicada a un músculo excede a la capacidad de producir fuerza por dicho músculo, este se contraerá a la vez que su longitud aumenta, (Lindstedt, 2001). Por lo tanto podemos definir el concepto de contracción excéntrica como aquella contracción muscular que se aleja del centro del músculo.

### **2.5 El ejercicio excéntrico en la prevención y recuperación de lesiones mio-tendinosas.**

#### **2.5.1. Introducción al ejercicio excéntrico.**

En 1882, el fisiólogo alemán Adolf Fick, documentó en una de sus investigaciones que si un músculo se estira durante una contracción, se podría ejercer mayor fuerza (Fick, 1882). Hablaba entonces de trabajo negativo para referirse a lo que posteriormente se denominó trabajo excéntrico. Más tarde, el fisiólogo inglés Archibald Hill descubrió que, además de producir más fuerza, la producción de calor en las contracciones excéntricas es menor que en las contracciones concéntricas (Hill, 1990).



Sin embargo, la primera revelación de la importancia funcional del ejercicio excéntrico se produjo gracias a la investigación realizada por Abbot et al. en 1952 (Abbot, 1952). Estos autores demostraron gracias a unos experimentos con cicloergómetros estacionarios, que el gasto energético, en valores de consumo de oxígeno, era menor en el ciclista que resistía el movimiento, es decir, el que hacía el esfuerzo excéntrico.

A pesar de estos resultados tan prometedores sobre las cualidades del ejercicio excéntrico, en los años posteriores se realizaron pocas investigaciones y como consecuencia, se conocía poco sobre cómo la contracción excéntrica influían en la mecánica y la energética. Tanto es así que uno de los investigadores más ilustres sobre la biomecánica muscular, el americano Tom McMahon, consideraba las contracciones excéntricas como “el lado oscuro de la curva fuerza-velocidad”, en referencia a la falta de conocimiento sobre esta acción del modelo clásico de Hill (Lindstedt, 2001).

En los años 70, Bigland y Woods, ampliaron el trabajo realizado por Abbot (Abbot, 1952) mediante un diseño experimental similar. Estos autores evaluaron mediante electromiografía de superficie la activación de los músculos del cuádriceps y encontraron que durante las contracciones excéntricas el reclutamiento de las fibras era menor (Bigland, 1976).

A principios de los 90 varios estudios establecieron la importancia de las acciones excéntricas en las adaptaciones al entrenamiento de la fuerza. Colliander y Tesch (Colliander, 1990) compararon el efecto de entrenar la fuerza del cuádriceps durante 12 semanas, en un trabajo solo concéntrico, contra otro que incorporó ambas acciones musculares; se encontraron mayores ganancias porcentuales en test de fuerza máxima y salto vertical para el grupo que se ejercitó combinando ambas acciones. Dudley et al (Dudley, 1991) en una investigación similar a la anterior, pero añadiendo un grupo más, el cual hacía trabajo concéntrico con el doble de carga, encontraron que las acciones excéntricas optimizaban la intensidad del entrenamiento y mejoraban las adaptaciones neurológicas a la fuerza. Por último Hather et al (Hather, 1991) publicaron los resultados del mismo estudio pero estudiando las adaptaciones musculares, concluyendo que las máximas tasas de síntesis proteicas en el músculo, expresadas en aumento de tamaño de las fibras, solo son posibles cuando se incorporan acciones excéntricas en los ejercicios de fuerza.

Hay consenso en reconocer que las acciones excéntricas tienen características diferentes a las concéntricas, pero que, a su vez, estas se complementan y se potencian. De hecho, en alguno de los estudios comentados anteriormente se comprobó que hay mayor producción de fuerza en una contracción concéntrica cuando estas van precedidas de una excéntrica (Colliander y Tesch, 1990; Dudley, 1991). Se piensa que esto podría suceder debido a que las acciones excéntricas tienen como particularidad mecánica la mayor contribución de los componentes

elásticos en la unidad músculo-tendinosa, aumentando así el potencial de producción de fuerza para la contracción concéntrica siguiente (Meylan, 2008; Roig, 2008).

Posteriormente, el ejercicio excéntrico se ha introducido dentro de los protocolos de prevención y recuperación de lesiones, así como dentro de los programas de entrenamiento deportivo. Las características fisiológicas que proporcionan las contracciones excéntricas se convirtieron en una justificación adecuada para mejorar la función y el crecimiento muscular sin lesiones el músculo.

Estas son sus principales características:

El ejercicio excéntrico conlleva menor coste energético. Ya hemos comentado al inicio del capítulo, el trabajo de Abbot, que fue el primero en demostrar el menor coste energético en forma de consumo máximo de oxígeno de las acciones excéntricas frente a las concéntricas. Con respecto a este tema se pusieron en marcha nuevas investigaciones que verificaron los resultados obtenidos por Abbot et al. Así Dudley en 1991 (Dudley, 1991) demostró a través de una comparativa entre la realización de un ejercicio concéntrico con otro igual, al que se le sumaba una contracción excéntrica, que el coste de energía no aumentaba significativamente en el grupo de la acción excéntrica. En un trabajo similar llevado a cabo por el grupo de Caruso (Caruso, 2003), donde se evaluaban los valores obtenidos en trabajo con dispositivos inerciales y en VO<sub>2</sub> pico en una comparativa entre trabajo concéntrico aislado frente a otro concéntrico y excéntrico, se encontró que en el grupo excéntrico se alcanzaron valores de trabajo mayores sin un mayor coste energético.

La acción excéntrica posee un patrón específico de funcionamiento neural. Actualmente está reconocido que las acciones excéntricas tienen un patrón diferente de reclutamiento de unidades motoras mediante un tipo específico de activación neural, basado en un modelo revisado del principio de Henneman, el cual establece un orden específico en una contracción de intensidad progresiva. En el caso de las acciones excéntricas, a diferencia de las concéntricas, la activación de las fibras tipo IIx se haría de un modo más rápido y menos escalonado (Hortobágyi 1996, Aagaard 2000, Duchateau, 2013).

Por otro lado, Fang en 2001 (Fang, 2001), demostró en un estudio donde comparaba las acciones excéntricas y concéntricas y el resultado obtenido en pruebas de electroencefalografía (EEG) y electromiografía (EMG), que en las acciones excéntricas se encontraron mayores niveles de actividad cortical con una baja actividad electromiográfica. Esto se puede traducir como que las áreas corticales monitorizadas procesan una mayor cantidad de información sensorial inducida por mecanismos reflejos de los estiramientos de los músculos. Estas afirmaciones demostrarían que el procesamiento entre las acciones concéntricas y excéntricas es diferente, es decir, que tienen una estrategia diferenciada del sistema nervioso central (SNC).

También se ha demostrado en diferentes investigaciones (Westing, 1991; Hortobágyi, 1996; Fang, 2001) mediante el análisis de actividad electromiográfica, que en las acciones excéntricas se produce una menor activación del número de unidades motrices frente a una contracción concéntrica parecida. Para explicar este hecho los investigadores han dado varias explicaciones, como por ejemplo, la imposibilidad del SNC para activar completamente las unidades motoras implicadas, como parte de un mecanismo inhibitorio orientado a proteger las estructuras contráctiles frente a altos niveles de tensión presentes en este tipo de acción muscular (Hortobágyi, 1996; Aagard, 2000), o que la menor activación electromiográfica refleja la intervención de los componentes elásticos de las fibras musculares, principalmente los filamentos de titina (Lindstedt 2001; Roig 2008).

El ejercicio excéntrico se asocia a daño muscular y a dolor muscular tardío (DOMS por sus siglas en inglés). Hay consenso en reconocer que cargas excéntricas agudas, muy altas o repetitivas, son causantes de daño muscular en las estructuras musculares y del tejido conectivo (Enoka, 1996; Paulsen, 2010). Esto es debido posiblemente a la consecuencia del menor reclutamiento de fibras, característico de este tipo de acción muscular, en contraposición a una mayor carga mecánica, además del hecho de que las fibras Tipo IIx han mostrado ser más susceptibles a la rotura de sus proteínas contráctiles ante cargas excéntricas excesivas (McHugh, 2003). De este modo, se provoca una respuesta inflamatoria tardía como reacción para la reparación del daño producido por las rupturas de los sarcómeros de actina y miosina, así como los filamentos intermedios de titina y nebulina. A su vez, se da la síntesis de sustancia reparadora con lo que se deriva material hacia el espacio extracelular, que junto con la reacción inflamatoria asociada, activan los receptores de dolor, que es lo que se conoce como dolor muscular tardío o DOMS (por sus siglas en inglés “delayed onset muscle soreness”) (McHugh, 2003; Paulsen, 2010).

Con el ejercicio excéntrico se produce el fenómeno del “efecto de esfuerzo repetido”. El efecto de esfuerzo repetido o Repeated Bout Effect (RBE por sus siglas en inglés) consiste en que el daño muscular que se produce en las sesiones posteriores después de haber realizado un ejercicio excéntrico no es el mismo que se produce en esa sesión inicial y, además, en estas sesiones posteriores se recupera fuerza muscular (McHugh, 2003). Este fenómeno se considera como una adaptación que aparece como respuesta a nuevas cargas excéntricas.

El “efecto de esfuerzo repetido” se ha intentado explicar a través de tres posibles teorías según la información publicada en diferentes estudios. La primera teoría defiende que tras el ejercicio excéntrico se dan una serie de respuestas en el patrón de reclutamiento de fibras que deriva en la incorporación de fibras adicionales a la acción muscular, es lo que se conoce como teoría de la adaptación neural. En segundo lugar, aparece la Teoría de la Adaptación Mecánica, la cual afirma que la respuesta a una alta carga excéntrica, es el aumento de la rigidez muscular dinámica y que está, a su vez, deriva en una adaptación estructural de la fibra muscular a modo

de protección. La última teoría sugiere que la respuesta al daño muscular se produce por la suma de sarcómeros y por las adaptaciones a las respuestas inflamatorias. Es la llamada Teoría de la adaptación celular. Los últimos estudios publicados al respecto sugieren que los mecanismos adaptativos del “efecto de esfuerzo repetido” están más relacionados con el músculo que con su vía neural.

En las acciones excéntricas se obtienen mayores picos de fuerza. Esta característica fue investigada por primera vez en 1965 a través de mediciones obtenidas por dinamometría isocinética en ejercicios de fuerza y encontraron valores superiores en acciones excéntricas de hasta el 40% comparadas con las concéntricas y de hasta un 14% con respecto a las isométricas (Doss y Karpovich, 1965). Desde entonces, varios estudios usando distintos medios han demostrado que, para diferentes formas de ejercicios, durante las acciones excéntricas, hay mayor producción de fuerza en comparación con las concéntricas (Colliander y Tesh, 1990; Westing, 1991).

A pesar de que los mecanismos por los cuales se consiguen mayores picos de fuerza excéntrica en los ejercicios de fuerza no están del todo claros, la explicación más plausible es la comentada en el punto anterior del mecanismo de reclutamiento de fibras musculares y una mayor implicación de las propiedades visco-elásticas del músculo (Hortobágyi, 1996; Meylan, 2008), lo que también se ve reflejado en un retraso en la aparición de la fatiga (García-López, 2008; Ratamess, 2012).

## **2. 5. 2. El ejercicio excéntrico en la prevención y recuperación de lesiones**

A largo plazo, los programas de entrenamiento con ejercicio excéntrico dan lugar a una serie de adaptaciones a nivel muscular y tendinosa. Estas adaptaciones tienen importantes aplicaciones en sujetos lesionados o para aquellos deportistas que quieran mejorar su rendimiento o prevenir la aparición de lesiones músculo-tendinosas. Debido a que el músculo es capaz de generar más fuerza en la fase excéntrica de la contracción que en la concéntrica, uno de los objetivos del entrenamiento excéntrico puede ser la mejora de la fuerza muscular (Lindstedt et al., 2001).

Además, como se ha mencionado anteriormente, las contracciones musculares excéntricas se producen con un bajo coste metabólico. Los músculos que se contraen de forma excéntrica producen más fuerza consumiendo menos energía. Por lo tanto, el entrenamiento excéntrico puede aumentar el tamaño y la fuerza muscular con unas demandas bajas del sistema cardiovascular (LaStayo, 2000).

Los incrementos observados en los valores de fuerza y en el área transversal de la fibra muscular habitualmente son mayores en programas de entrenamiento de ejercicio excéntrico que en programas de entrenamiento de fuerza tradicional. Con el ejercicio excéntrico se produce un aumento en la rigidez muscular, con lo que aumenta la capacidad de amortiguación del músculo, que puede ocurrir independientemente

del aumento en el tamaño muscular y la fuerza isométrica (LaStayo, 1999). Con toda probabilidad, las mejoras en la fuerza y en la capacidad de amortiguación del músculo tras la realización de un programa de ejercicio excéntrico son debidos a los cambios producidos a nivel estructural y neural (Lindstedt et al., 2001).

### **2. 5. 2. 1. Ejercicio excéntrico y mejoras en la ganancia de fuerza.**

La combinación y la alternancia en la acción muscular, excéntrica y concéntrica, es utilizada en los programas de entrenamiento por los profesionales de la actividad física y la salud para conseguir ganancias de fuerza en sus deportistas. Varias investigaciones realizadas con dinamómetros isocinéticos han demostrado mayores ganancias de fuerza con entrenamientos excéntricos que con concéntricos. Como se ha mencionado anteriormente, con el entrenamiento excéntrico se pueden conseguir mayores ganancias de fuerza debido a que implican un menor coste energético para desarrollar una carga determinada (Peñailillo, 2013), permitiendo a los deportistas superar una mayor carga que durante acciones concéntricas en un mismo porcentaje de 1-RM. Este hecho puede conducir a desarrollar una mayor tensión para una misma carga relativa y, por lo tanto, a mayores ganancias de fuerza (Flanagan, 2014; Moir, 2013), y una mayor activación de las unidades motoras (Hortobagyi, 1996 y 2000). En un estudio realizado al respecto por Doan et al. (Doan, 2002), encontró que el 1-RM en un ejercicio de press de banca se podía aumentar de forma aguda mediante la aplicación de una carga supra- máxima (105% de su 1-RM) en fase excéntrica. Este incremento agudo provocó un aumento significativo de la 1-RM de los participantes. Las interpretaciones del por qué se producen estos incrementos significativos de forma aguda incluyen una mayor estimulación neural del músculo y un mayor almacenamiento de energía elástica en el músculo.

La estimulación neuromuscular por parte del ejercicio excéntrico es debida al mayor estiramiento del huso neuromuscular, que es un receptor de estiramiento que se encuentra paralelo a la actina y miosina, y es sensible a los cambios en la longitud y a la velocidad de estiramiento del músculo. Este aumento en la extensión de los husos neuromusculares provoca un incremento en los impulsos de los nervios motores que producen un aumento potencial en la capacidad de producir fuerza (Dietz, 1979). Otra interpretación del porqué se incrementa el 1-RM concéntrico después de un entrenamiento excéntrico supra-máximo hace referencia a que el músculo actúa como una especie de amortiguador. En este sentido, Doan et al. (Doan, 2002) explican que la mayor fuerza excéntrica puede aumentar el almacenamiento de energía elástica en las fibras musculares y tendones, lo que proporcionará una mayor capacidad de producción de fuerza en la acción concéntrica.

Existe numerosa evidencia de los beneficios del entrenamiento de la fuerza mediante acciones concéntricas y excéntricas. A continuación detallamos algunos artículos al respecto. Ya por el año 1968 Seliger et al. (Seliger, 1968) investigaron los efectos de 13 semanas de entrenamiento concéntrico y excéntrico de 15 jugadores de rugby de alto nivel que realizaban ejercicios de fuerza de tren superior e inferior dos veces

por semana con peso libre. Un grupo realizó acciones musculares concéntricas con el 90-95% del 1-RM, mientras que el otro grupo realizó acciones musculares excéntricas con el 145-150% del 1-RM. Los investigadores encontraron que ambos grupos de entrenamiento mostraron incrementos significativos en la fuerza, sin existir diferencias significativas entre grupos. Más adelante en el estudio de Pavone et al. (Pavone, 1985) investigaron los efectos sobre la fuerza isométrica en el músculo cuádriceps de un programa de entrenamiento de 6 semanas en 27 mujeres sanas. Se dividieron los participantes en tres grupos, un primer grupo que entrenó solo de forma excéntrica, un segundo que entrenó de forma concéntrica y un tercer grupo que entrenó de forma isométrica. Todos los grupos realizaron 3 sesiones por semana, 30 repeticiones por sesión a una intensidad basada en el porcentaje del 1RM concéntrico y excéntrico. Los 3 grupos incrementaron de forma significativa su fuerza isométrica, sin existir diferencias significativas entre los grupos.

Otra aportación es la del estudio de Ben-Sirah et al. (Ben-Sirah, 1995) donde se estudiaron los efectos del ejercicio excéntrico, concéntrico convencional y excéntrico supra-máximo en 60 mujeres jóvenes no entrenadas. Los investigadores encontraron ganancias de fuerza significativas solo en los grupos concéntrico (1.8%) y excéntrico (2.1%), sin ser estas diferencias estadísticamente significativas entre sí. Reeves et al. (Reeves, 2009) compararon los efectos del ejercicio excéntrico con el ejercicio convencional en personas de edad avanzada. Los participantes de este estudio fueron divididos en dos grupos que realizaron un programa de entrenamiento de 3 días por semana durante 14 semanas. Antes y después de la intervención, los investigadores evaluaron en test isocinético, el torque máximo en la extensión de rodilla de forma concéntrica y excéntrica, así como el torque máximo de forma isométrica en diferentes ángulos articulares. Estos investigadores encontraron que solo el grupo que entrenó de forma excéntrica incrementó de forma significativa la fuerza excéntrica en todas las velocidades evaluadas. El grupo que entrenó de forma concéntrica mejoró de forma significativa en la evaluación concéntrica en todas las velocidades, pero no en la evaluación excéntrica. Raue et al. (Raue, 2005) compararon los efectos de un programa realizado de forma concéntrica con otro realizado de forma excéntrica. Ambos programas fueron realizados de forma unilateral en la extensión de rodilla sobre 15 hombres sanos sedentarios. Se realizaron 3 grupos de intervención, uno que entrenó de forma concéntrica, otro que entrenó de forma excéntrica y un tercer grupo control. Los participantes de los grupos experimentales realizaron 4 series de 8 repeticiones al 80% del 1-RM, 3 días por semana durante 4 semanas. Antes y después de la intervención, los investigadores evaluaron el 1-RM de forma concéntrica y encontraron que el 1-RM realizado de forma concéntrica aumentó significativamente en el grupo concéntrica, pero no en el grupo que entrenó de forma excéntrica.

Además de lo comentado hasta ahora, existen otros estudios que han comparado los efectos sobre las ganancias de fuerza del entrenamiento excéntrico con respecto al entrenamiento concéntrico. Por ejemplo, Smith y Rutherford (Smith, 1995) evaluaron los efectos en la ganancia de fuerza en 10 hombres y 10 mujeres jóvenes sanos



durante 20 semanas de entrenamiento concéntrico y excéntrico. Los dos grupos de estudio realizaron el entrenamiento de forma excéntrica con una pierna y de forma concéntrica con la otra. Antes y después de la intervención se evaluó los cambios en la fuerza isométrica e isocinética y se encontró que el aumento en la fuerza isométrica fue significativamente mayor en la pierna que entrenó de forma concéntrica frente a la que entrenó de forma excéntrica. Sin embargo, se encontró una tendencia positiva para el aumento de la fuerza isocinética en la pierna que entrenó de forma excéntrica, aunque esta diferencia no fue significativa. En otro estudio comparativo de entrenamiento concéntrico y excéntrico Vikne et al. (Vikne, 2006) investigaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento de los músculos flexores del codo en 17 hombres entrenados en fuerza. Los participantes de este estudio entrenaron 2-3 veces por semana con cargas variables. Antes y después de la intervención, los investigadores evaluaron la fuerza concéntrica y excéntrica de forma aislada. La fuerza concéntrica mejoró tanto en el grupo de entrenamiento concéntrico como en el grupo de entrenamiento excéntrico, sin embargo, las ganancias de fuerza en el 1-RM excéntrico fueron mayores en el grupo de entrenamiento concéntrico. Kelly et al. (Kelly, 2014) compararon los efectos del entrenamiento excéntrico y concéntrico sobre las mejoras en la fuerza máxima en 30 hombres sanos en el ejercicio de press de banca. Además, compararon los efectos de ambos métodos sobre el número de repeticiones hasta el fallo a diferentes intensidades relativas del 1-RM. Antes y después de la intervención se evaluó mediante el test 1-RM la fuerza máxima de forma concéntrica y excéntrica y el número de repeticiones hasta el fallo a diferentes intensidades del 1-RM. Estos autores encontraron que el entrenamiento excéntrico provocó mayores ganancias de fuerza significativas en el 1-RM que el entrenamiento concéntrico. Además comprobaron que en intensidades altas, los participantes que entrenaron mediante contracciones excéntricas consiguieron realizar más repeticiones hasta el fallo que los que entrenaron mediante contracciones concéntricas.

En la investigación desarrollada por Wirth et al. (Wirth, 2014) se analizó los efectos de un protocolo de ejercicio excéntrico utilizando cargas supra-máximas ( $>1$ -RM) sobre la fuerza máxima y la fuerza explosiva de la extremidad inferior. Formaron parte de su estudio un total de 28 participantes, donde 15 participantes entrenaron de forma excéntrica formando el grupo experimental y 13 participantes formaron parte de un grupo control, con experiencia en el trabajo de fuerza en tren inferior. El programa de entrenamiento tuvo una duración de 6 semanas, realizando 3 sesiones de entrenamiento por semana. Antes y después del entrenamiento evaluaron la fuerza máxima (1-RM), la fuerza excéntrica máxima y la fuerza isométrica máxima mediante test isocinéticos. Estos autores encontraron mejoras significativas en el 1-RM y en la fuerza excéntrica máxima en el grupo experimental. Sin embargo, no encontraron mejoras significativas en la fuerza isométrica máxima.

Tras realizar un análisis de los estudios planteados anteriormente, podemos concluir que no existe una tendencia clara a favor de una acción muscular u otra en cuanto a ganancias de fuerza se refiere, con varios estudios que no encuentran diferencias significativas entre las acciones musculares utilizadas durante el entrenamiento,

con dos estudios que muestran el beneficio de las acciones excéntricas sobre las concéntricas y dos estudios que muestran un beneficio de las acciones musculares concéntricas sobre las excéntricas, respectivamente. Por otro lado y utilizando la evaluación mediante test isocinéticos tampoco existe una tendencia clara, con un estudio que demuestra una diferencia significativa a favor del entrenamiento excéntrico, otro que no demuestra diferencias significativas, y otro a favor de las acciones musculares de tipo concéntrica. En cuanto a las evaluaciones de tipo isométrico, mientras que la literatura es limitada, hay una fuerte tendencia a favor del entrenamiento mediante contracciones musculares concéntricas. Lo que sí parece clara, aunque la literatura es limitada, que sólo el entrenamiento excéntrico provoca ganancias de fuerza en acciones de tipo excéntrico. Por lo tanto, las acciones musculares parecen conducir a mayores incrementos en la fuerza solo cuando sean acciones musculares de tipo excéntrico, por lo que un deportista no puede beneficiarse del uso de este tipo de entrenamiento cuando se enfoca exclusivamente en incrementar la fuerza concéntrica. Además, las acciones musculares de tipo concéntrico parecen conducir a mayores incrementos en la fuerza de tipo isométrica, por lo que el uso del entrenamiento concéntrico sólo se beneficiaran en los escenarios en los que individuo debe realizar acciones musculares isométricas o cuasi- isométricas.

Por último, el entrenamiento mediante acciones musculares excéntricas parecen conducir a mayores incrementos en la fuerza excéntrica, por lo que en los deportistas que necesiten mejorar las habilidades de desaceleración o la capacidad de controlar los aterrizajes tras salto, será recomendable realizar el entrenamiento mediante acciones musculares excéntricas.

### **2. 5. 2. 2. Efectos del ejercicio excéntrico sobre el músculo.**

La hipertrofia muscular consiste en un aumento del tamaño muscular. Este aumento de tamaño se puede producir a través del entrenamiento mediante acciones musculares concéntricas, excéntricas o isométricas. Con respecto a este tema Roig et al. (Roig, 2009) realizaron un meta- análisis para evaluar los efectos del tipo de acción muscular sobre la hipertrofia. Analizaron 20 estudios controlados aleatorizados con resistencia externa isocinética e isoinercial y llegaron a la conclusión de que cuando se realiza el ejercicios excéntricos usando cargas relativas más altas, se produce un incremento significativo sobre la hipertrofia.

Existen varios mecanismos mediante los cuales el ejercicio excéntrico puede conducir a resultados superiores que el entrenamiento concéntrico sobre la hipertrofia. Como se ha comentado anteriormente, el ejercicio excéntrico implica un menor coste energético ante una misma carga de trabajo (Peñailillo et al., 2013). Por otro lado, el entrenamiento excéntrico permite a los deportistas superar una mayor carga en porcentaje sobre el 1-RM que mediante el ejercicio concéntrico (Flanagan et al., 2014; Moir et al., 2013). Esta mayor capacidad de generar fuerza se debe a la ayuda que proporcionan las estructuras pasivas que se encuentran dentro de los elementos



contráctiles de las fibras musculares. Además, se cree que las acciones musculares excéntricas conducen a un mayor daño muscular que las acciones concéntricas, ya sea debido a la capacidad de generar más tensión o a la tensión que se ejerce mientras que el músculo se está estirando. El daño muscular inducido por el ejercicio puede ser un mecanismo por el cual se estimula la hipertrofia. El fenómeno del daño muscular inducido por el ejercicio parece tener algunas similitudes con la respuesta inflamatoria a una infección inicial en la medida en que el músculo dañado emite agentes que atraen a los macrófagos y los linfocitos que aclaran las células muertas. Estos agentes también liberan factores de crecimiento que regulan la proliferación y diferenciación de las células satélite y en consecuencia la reparación del daño muscular y la provisión de nuevos núcleos de fibras musculares (Schoenfeld, 2010).

Finalmente, parece que las acciones musculares excéntricas podrían estimular las fibras de contracción rápida del músculo en mayor grado que las acciones musculares concéntricas, siendo conocidas estas fibras musculares por tener una mayor capacidad de crecimiento (Hortobagyi, 1996 y 2000). En resumen, podemos concluir que el entrenamiento mediante contracciones excéntricas puede ser más eficaz que el entrenamiento mediante acciones concéntricas debido a que permite desarrollar una mayor tensión mecánica, permite realizar un mayor volumen de entrenamiento por su menor coste energético, conduce a un mayor daño muscular y a una mayor tensión sobre las estructuras pasivas, que pueden desencadenar un mayor crecimiento en las fibras musculares de tipo II.

### **2. 5. 2. 3. Efectos del ejercicio excéntrico sobre el tendón.**

Las tendinopatías son lesiones por sobreuso que se caracterizan por un dolor localizado dentro del tendón que puede provocar una disfunción de la extremidad sobre la que actúa (Malliaras, 2013). Los dos tendones que se ven afectados con mayor frecuencia por esta patología son los tendones de aquiles y rotuliano (Malliaras, Barton, et al., 2013).

Las características patológicas de las tendinopatías incluye un estado celular alterado que provoca una degradación de la matriz extracelular (acumulación de sustancia fundamental, colágeno desorganizado y crecimiento interno de vasos sanguíneos) (Jozsa, 1982; Khan, 1996). Los tenocitos y las terminaciones nerviosas liberan sustancias bioquímicas que se cree, tienen un papel importante en la aparición del dolor en los tendones (Andersson, 2008; Danielson, 2009). Además, tanto factores extrínsecos (carga excesiva) como factores intrínsecos (altos niveles de lípidos en sangre y factores genéticos) pueden predisponer a este tipo de lesiones (de Vries, 2014; Kraemer, 2012; van der Worp, 2011).

En los últimos veinte años, el uso de ejercicios excéntricos se ha visto incrementado dentro de la literatura científica como modalidad de prevención y tratamiento para la recuperación de lesiones, fundamentalmente musculares y tendinosas. En revisiones

sistemáticas anteriores se han evaluado la capacidad de esta modalidad de ejercicio como método de tratamiento en tendinopatías de aquiles (Kingma, 2007; Malliaras, Barton, et al., 2013; Meyer, 2009; Silbernagel, 2001) y rotuliana (Gaida y Cook, 2011; Malliaras, Barton, et al., 2013; Visnes y Bahr, 2007) con resultados prometedores tras su utilización en el campo de la fisioterapia y en la readaptación deportiva.

Con independencia de si la naturaleza de la contracción muscular es excéntrica, concéntrica o isométrica, la matriz rica en colágeno de la UMT es crucial para la transmisión de fuerzas y la función muscular. La influencia del ejercicio excéntrico sobre el tendón sano o patológico se ha estudiado en menor medida que sobre el tejido muscular. Sin embargo, la comprensión de cómo el ejercicio excéntrico puede influir sobre la regulación molecular, la adaptación estructural y las propiedades mecánicas del tendón es de suma importancia tanto para la ejecución de un movimiento natural, como para la consecución del rendimiento deportivo y el tratamiento de lesiones (Magnusson, 2010).

### **2. 5. 2. 3. 1. Efectos del ejercicio excéntrico sobre los tendones sanos.**

Diferentes estudios realizados en modelos animales han evaluado los efectos del ejercicio excéntrico, concéntrico e isométrico sobre el tejido tendinoso. Los estudios realizados por Heinemer et al. demostraron que los tres tipos de contracción provocan una regulación positiva para la producción de proteínas estructurales importantes en el tendón (colágeno tipo I y III) y del factor de crecimiento insulínico (IGFs) y de tejido conectivo (CTGF), así como la formación de enlaces covalentes por enzimas de formación (lisil oxidasa). Esta situación sugiere que el tendón, en comparación con el músculo esquelético, es menos sensible al tipo e intensidad del estímulo mecánico (tipo de contracción e intensidad de carga) en la expresión del colágeno, sus factores de regulación y en la formación de enlaces de tipo covalentes (Heinemeier et al., 2007 y 2009).

Por otro lado, un estudio más reciente en ratas, ha demostrado que en un protocolo de 5 semanas de entrenamiento en tapiz rodante con pendiente declinada (carga excéntrica), provoca una mejora de las propiedades mecánicas y de la acumulación de colágeno en los tendones aquiles, rotuliano y del tríceps que el entrenamiento donde se acentúa la carga en fase concéntrica (tapiz rodante con pendiente inclinada). Mientras que parece existir una respuesta en la expresión genética a la carga excéntrica en tendones de animales (Heinemeier et al., 2007; Kaux et al., 2013), es cuestionable si esto se puede extrapolar al tendón humano.

Cuando se compara el ejercicio excéntrico con el ejercicio concéntrico en tendones de aquiles humanos sanos, no se encuentran mejoras significativas en la fuerza pico del tendón o en la deformación del tendón durante las contracciones (Alfredson et al. 1998). Sin embargo, las oscilaciones en la fuerza del tendón son más pronunciadas en el ejercicio excéntrico que en el concéntrico, pudiendo esta circunstancia influir en

la respuesta del tendón a los tipos de contracción específico (Rees, 2008). Además, los estudios sobre las respuestas agudas del tendón de aquiles sano sugieren que su diámetro se reduce de forma más acentuada tras someterle a estímulo excéntrico que tras someterle a ejercicio concéntrico (Grigg, 2009; Obst, 2013).

El entrenamiento a largo plazo mediante acciones concéntricas y excéntricas provoca un aumento en la rigidez del tendón sano en ambas situaciones (Malliaras, Kamal, et al., 2013). Además, diferentes estudios han evaluado la capacidad del tendón a incrementar su área de sección transversal como respuesta a cargas externas (Couppe, 2008). En este sentido, estudios en humanos sugieren que el tejido tendinoso es metabólicamente sensible a cargas externas (Bojsen-Moller, 2006; Hannukainen et al., 2005). Esta situación hace que en determinadas acciones repetidas provoquen un aumento significativo en el tamaño y las propiedades mecánicas del tendón (Couppe et al. 2008).

Por otro lado, Kongsgaard et al. (Kongsgaard, 2007) evaluaron si el área de sección transversal difiere en los tercios proximal, medio y distal del tendón rotuliano en respuesta al entrenamiento de fuerza con intensidades altas y bajas. En su estudio, comprobaron que tras 12 semanas de entrenamiento de fuerza se produce un incremento en el área de sección transversal en la parte proximal del tendón para las intensidades bajas ( $7 \pm 3\%$ ;  $P < 0.05$ ) y un incremento significativo a nivel proximal ( $6 \pm 3\%$ ;  $P < 0.05$ ) y distal ( $4 \pm 2\%$ ;  $P < 0.05$ ) para las intensidades altas. Otro estudio sobre la hipertrofia del tendón como respuesta al entrenamiento de fuerza es el realizado por Farup et al., (Farup, 2014). Estos autores sometieron a sus participantes a 12 semanas de entrenamiento concéntrico y excéntrico combinado con suplementación mediante proteínas de suero de leche y carbohidratos. Comprobaron que el entrenamiento de fuerza concéntrica y excéntrica provocó un aumento en el área de sección transversal del tendón rotuliano de un  $14.9 \pm 3.1\%$  ( $P < 0.001$ ) para los que se suplementaron con proteína de suero de leche y  $8.1 \pm 3.2\%$  ( $P < 0.054$ ) para los que se suplementaron con carbohidratos, sin diferencias en función del modo de contracción.

#### **2. 5. 2. 3. 2. Efectos del ejercicio excéntrico sobre las tendinopatías.**

Las lesiones tendinosas representan entre el 30 y el 50% de las lesiones en el deporte (Khan y Scott, 2009). En concreto, los problemas crónicos causados por una sobrecarga de los tendones representan un 30% de todas las lesiones relacionadas con la carrera, y las epicondilitis o codo del tenista representan el 40% de las lesiones en el tenis (Sharma y Maffulli, 2006). La incidencia de la tendinopatía rotuliana representa el 32% y el 45% en jugadores de baloncesto y voleibol, respectivamente (Lian, 2005).

Las lesiones tendinosas no solo pueden provocar en los deportistas una incapacidad para poder entrenar o una disminución en el rendimiento deportivo, si no que a largo

plazo también pueden provocar daños irreparables en los tendones que pueden afectar a la realización de actividades de la vida cotidiana. El hecho de que la mayoría de las lesiones deportivas por sobreuso presentan algún tipo de componente de la tendinopatía, hace que resulte de vital importancia la manera de encontrar algún tipo de tratamiento que supere este tipo de patologías, sin tener en cuenta la zona corporal en la que se encuentren.

Una de las modalidades de tratamiento que ha demostrado tener un efecto clínico significativo sobre la tendinopatía es el uso de los ejercicios excéntricos realizados a una velocidad relativamente lenta de contracción. El primer investigador en determinar el efecto beneficioso del ejercicio excéntrico sobre las tendinopatías fue Stanish et al. (Stanish, 1986). Estos autores argumentaron su utilización en base al conocimiento de que en el ejercicio excéntrico se utilizan cargas mayores que son transferidas al músculo y al tendón que en el ejercicio concéntrico, por lo que el autor manifiesta que el tendón debe adaptarse a soportar cargas elevadas de trabajo. De este modo, demostraron por primera vez que un programa de entrenamiento excéntrico de 6 semanas de duración, tiene efectos favorables sobre la tendinopatía de aquiles. El estudio realizado por Stanish et al. sobre la tendinopatía de aquiles fue continuado por más estudios controlados que confirman los resultados iniciales, pero en este caso utilizando protocolos de mayor duración (12 semanas) y más intensos en carga (Alfredson, 1998). En la actualidad, el ejercicio excéntrico ha sido confirmado como uno de los métodos preferidos para el tratamiento de la tendinopatía en el tercio medio del tendón de aquiles (Meyer et al., 2009; Sussmilch-Leitch, 2012). Además de mejorar la sintomatología en la patología, el grosor del tendón y las anomalías estructurales y vasculares evaluadas con MRI y ecografía, han sido mejoradas tras la aplicación de ejercicio excéntrico en tendones de aquiles (Ohberg y Alfredson, 2004), aunque otras investigaciones no encuentran relación significativa entre los cambios intratendinosos (van der Plas et al., 2012), la hipervascularización (De Jonge et al., 2014; Fredberg, 2008) y la mejora de la sintomatología clínica. Estudios en tendón rotuliano también han demostrado los efectos del ejercicio excéntrico sobre la sintomatología clínica (Cannell, 2001). Mientras que en este estudio inicial no se encontraron diferencias significativas entre las contracciones concéntricas y excéntricas, un estudio posterior demostró que el ejercicio excéntrico ofrece mejores resultados que el ejercicio concéntrico (Jonsson y Alfredson, 2005). La realización de los ejercicios excéntricos para el tendón rotuliano fueron perfeccionados mediante la implementación de una superficie inclinada a 25° que demostró sobrecargar el tendón rotuliano en un mayor grado, evidenciando que esta variación biomecánica ofrece mejores resultados que el hecho de realizarlos sobre una superficie plana (Purdam et al., 2004; Young, 2005).

Resultados similares se encontraron al comparar los ejercicios excéntricos en superficie inclinada con un método novedoso, conocido como “método Brossman”, que consistía en resistir cargas externas muy altas (Frohm et al., 2007). Estudios posteriores han comparado los efectos del ejercicio excéntrico con los del ejercicio concéntrico realizado lentamente con altas intensidades, y con infiltraciones de glucocorticoides (Kongsgaard et al., 2009), demostrando que los dos métodos de

entrenamiento provocan efectos beneficiosos similares, tanto a corto como a medio plazo.

Por lo tanto, en la actualidad parece que el ejercicio excéntrico y el ejercicio concéntrico a baja velocidad con cargas pesadas provocan efectos beneficiosos en la tendinopatía rotuliana (Larsson, 2012). Aun así, la etiología de las tendinopatías difiere de forma considerable en relación a la función que realiza el tendón, por lo que los propios tendones no tienen porqué reaccionar de manera similar al ejercicio excéntrico. En las tendinopatías del manguito rotador del hombro, los ejercicios excéntricos han demostrado ser beneficiosos en el tratamiento del impingement subacromial (Jonsson, 2006), y además, al compararlos con el ejercicio concéntrico, parece que sus resultados son más eficaces (Holmgren y Bjornsson 2012; Holmgren y Hallgren, 2013 y 2014). En la tendinopatía conocida como “codo del tenista”, la prescripción de ejercicio excéntrico demuestra mejores resultados que la aplicación de ultrasonido (Selvanetti, 2003). Además, los ejercicios excéntricos realizados en dinamómetro isocinético presentan un mejor resultado sobre la sintomatología, la fuerza y la normalización estructural del tendón que los protocolos de recuperación pasivas como pueden ser los ultrasonidos, los estiramientos y los masajes (Croisier, 2007).

Aunque la mayoría de los estudios presentados hasta el momento defienden el uso del ejercicio excéntrico para el tratamiento de las tendinopatías, todavía no se conoce el mecanismo mediante el cual este sistema favorece la sintomatología clínica en esta patología, por lo que se considera importante esclarecer cómo se normaliza la morfología del tendón y cómo se reduce el dolor y la hipervascularización. En la actualidad se sabe que la tendinopatía provoca una alteración en la morfología del tendón, un aumento de las cantidades de proteoglicanos y agua (Riley, 2008), un aumento en la actividad de la expresión y la actividad de enzimas proteolíticas (las metaloproteinasas de la matriz) (Corps, 2012), la angiogénesis y una limitada regulación del proceso inflamatorio al comienzo de la patología (Millar y Murrell, 2012; Pingel et al., 2012).

Por otro lado, la velocidad de ejecución del ejercicio excéntrico en el tratamiento de las tendinopatías es un factor importante a tener en cuenta. Se ha demostrado que velocidades altas explosivas, el desarrollo de tensión en la zona patológica es potencialmente menor que en la zona sana circundante, mientras que las contracciones excéntricas (o concéntricas) realizadas a baja velocidad puede conducir a una estimulación completa en todo el tendón. En otras palabras, el efecto es igualmente beneficioso con ejecuciones lentas y resistencias altas que los entrenamientos de sobrecarga excéntrica (que generalmente se realizan a baja velocidad) (Kongsgaard et al., 2009).

Esta situación puede dar una pista hacia los mecanismos responsables de los efectos beneficiosos del ejercicio excéntrico observados en las tendinopatías. Así, se puede especular que no es esencial si la contracción es excéntrica, concéntrica o una combinación de ambas. Más bien, la velocidad del movimiento y la magnitud de la carga podrían ser el eje central sobre el que giran estos efectos beneficiosos (Kjaer y Heinemeier, 2014).

Por lo tanto, el ejercicio excéntrico tiene un efecto beneficioso sobre el tendón patológico, pero el mecanismo por el cual esta situación se produce aún es desconocido, lo que obliga a continuar con la investigación en este campo.

## 2.6. Entrenamiento Isoinercial.

### 2.6.1. Dispositivos isoinerciales.

El mecanismo fundamental de la tecnología isoinercial se basa en un volante de inercia cuyo eje está fijado a una estructura de soporte (Figura 4). Uno de los extremos de una cincha de transmisión se enrolla alrededor de dicho eje, mientras que el otro se fija a distintas piezas desde las cuales se puede ejercer tracción. Al tirar de la cincha durante una acción muscular concéntrica el volante de inercia gira y al finalizar el recorrido (concéntrico) de la cincha, la rueda sigue girando gracias a su inercia. Esto hace que la cincha retroceda y tire de la extremidad del ejecutante en sentido contrario. Después de dejar la cincha se rebobine inicialmente, el sujeto ha de empezar a ejercer resistencia para desacelerar la rueda hasta que la energía cinética previamente acumulada se disipe y la rueda se pare por completo (Tous, 2011).

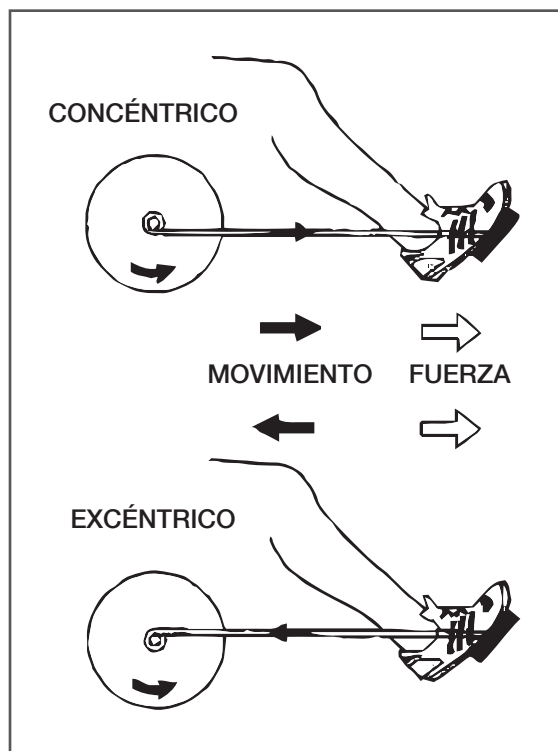


Figura 4: mecanismo del dispositivo isoinercial.



Debido a que esta acción excéntrica se realiza en un desplazamiento angular menor que en la acción concéntrica, aún siendo la energía la misma en ambas acciones, el torque excéntrico es superior al concéntrico, por lo que se produce una sobrecarga excéntrica (Alkner, 2003).

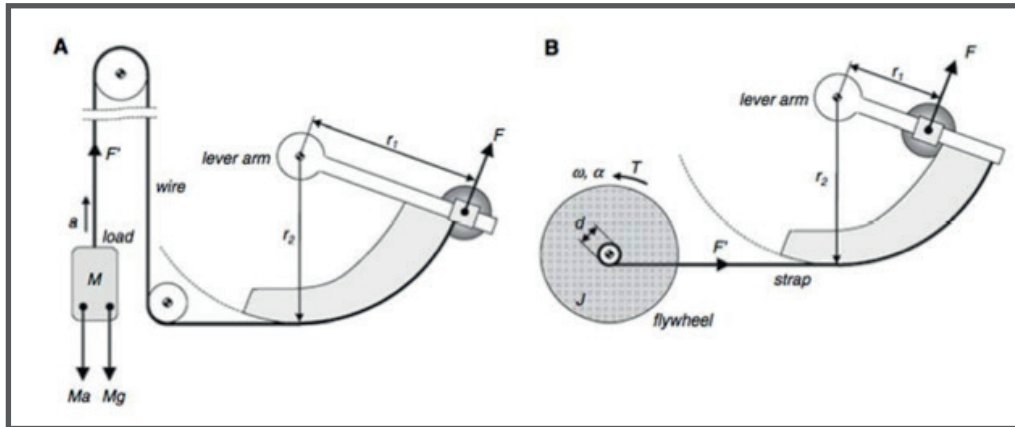


Figura 5: comparación de mecanismos de un sistema tradicional dependiente de la gravedad (A) y otro de resistencia inercial (B).

La representación del mecanismo inercial se representa en la figura 5 que dibuja un mecanismo de extensión de piernas en posición sentado. Como hemos comentado, la resistencia se genera mediante el sistema de un volante de inercia que acumula energía cinética en tanto es acelerado y alcanza una alta velocidad angular. El mecanismo de funcionamiento consta de un eje donde se conectan uno o dos volantes inerciales, según el prototipo, y en el cual, a su vez, hay una ranura en donde se fija una correa que se envuelve y desenvuelve durante la acción rotacional del dispositivo. Para activarlo, la correa debe estar previamente envuelta en el eje y ser desenrollado fuertemente por el ejecutante para hacerlo girar y consecuentemente girarán los volantes. La extensión completa de la correa corresponde a la fase concéntrica del movimiento y en esta, los volantes aumentan su velocidad angular proporcional a la fuerza de la tracción, acumulando energía cinética, de modo que al final de esa acción el volante sigue girando en virtud de su inercia y la correa se rebobina de nuevo en el eje. Este enrollamiento corresponde a la fase excéntrica del movimiento, la misma que generará la resistencia a vencer en el momento del frenado para iniciar una nueva acción concéntrica. Así, en un ciclo completo el volante siempre gira en un mismo sentido (similar al principio mecánico del yoyo) y cuanto más fuerte sea la fase concéntrica, la energía acumulada será proporcionalmente más alta y también la sobrecarga excéntrica (Berg y Tesch, 1994; Tous, 2006) (imagen 2).



Imagen 2: modelo de dispositivo isoinercial Exxentric KBok®

Además del dispositivo isoinercial comentado anteriormente, existen otras herramientas que utilizan este mismo principio para desarrollar el estímulo con sobrecarga excéntrica desde diferentes perspectivas y con aspectos más o menos funcionales. Una de estas herramientas es la polea cónica excéntrica VersaPulley ® (VersaPulley; Heart Rate Inc., Costa Mesa, CA) (imagen 3 y 4) que consta de un cono en cuya base inferior se ubican un número determinado de masas de 1 kg de peso (hasta 16) dependiendo de la resistencia que quieras ejercer y que giran cuando se enrolla y extiende sobre un cable que gira en torno al cono. Esto hace que la fuerza y la velocidad sean variables, siendo mayor la primera cuando el cable actúa en la parte superior o más estrecha del cono y la segunda al contrario (figura 6). Para su funcionamiento, el ejecutante tira el cable que hace girar el cono y sus masas, el cual mientras se acelera genera resistencia (fase concéntrica); al completar la extensión el cable es rebobinado con la misma fuerza inicial, momento en el cual se da la fase excéntrica. La sobrecarga ocurre al oponerse al rebobinado en un momento justo antes de iniciar uno nuevo. Se han constatado similitudes del trabajo con este dispositivo en comparación con el uso de pesas libres, al requerirse una mayor contribución de la cadera y el tobillo en la ejecución de ejercicios como sentadillas, fondo de piernas con barra y press militar de pie (Chiu et al., 2010).

Las aplicaciones más frecuentes de la polea cónica se dan en entornos de entrenamiento deportivo por su carácter funcional, en tanto permite movimientos multi-articulares, además permite realizar ejercicios de sobrecarga excéntrica con el miembro superior lo que con otros dispositivos resulta mucho más difícil. Esta posibilidad abre un abanico muy amplio de posibilidades para la prevención y el tratamiento de patologías de miembro superior tales como las tendinopatías del manguito de los rotadores o los síndromes de pinzamiento del hombro.





Imagen 3 y 4: Modelo de polea cónica excéntrica Versa Pulley®

### 2.6.2 Antecedentes en el entrenamiento isoinercial.

Una de las primeras investigaciones que se llevó a cabo con este sistema fue la realizada por Berg y Tesch en 1998 y destacaron sus efectos similares o superiores al entrenamiento con pesas libres, en cuanto a la mayor activación muscular, hipertrofia y el desarrollo de la fuerza con menos coste energético. Se concluyó que este dispositivo podía usarse como medio para combatir la atrofia y el deterioro de la función muscular, así como, la pérdida de la masa ósea en astronautas expuestos a la ausencia de gravedad, y se proyectó convertirlo en el estándar del entrenamiento de la fuerza en este ámbito (Berg y Tesch, 1998).

Las publicaciones científicas que siguieron a las de Berg y Tesch, continuaron la línea de investigación sobre la aplicación de la tecnología isoinercial en la astronáutica y de cómo esta puede ayudar a la estancia de los astronautas en el espacio. En Europa se desarrollaron sendos estudios de simulación de efectos de la microgravedad sobre el desacondicionamiento durante el reposo prolongado y las adaptaciones al ejercicio producidas por el entrenamiento isoinercial. El primer estudio denominado Long Term Bed Rest (LTBR) fue apoyado por las agencias espaciales Europea y Japonesa, investigándose las adaptaciones sobre el sistema músculo-esquelético. Sus principales resultados concluyeron que el uso del dispositivo isoinercial evitaba y/o reducía de manera significativa el deterioro y la atrofia muscular derivada del reposo en cama (Alkner y Tesch, 2004). Además, en aquellos casos en los que se producía la atrofia, ésta se reducía significativamente comparado con la ingesta de medicamento recomendado para evitar la misma (Ritwegwer, 2005). En el estudio de Alkner y Tesch se confirmó que el grupo que usó la tecnología isoinercial disminuyó la atrofia del cuádriceps con respecto a la del grupo control.

En referencia al tríceps sural se concluyó que, a pesar de darse la misma atrofia, esta se produjo a una velocidad menor que la del grupo control. Por otro lado, Ritwegwer, en sendos estudios, concluyó que el grupo que realizó el ejercicio con entrenamiento isoinercial atenuó la disminución del área de sección transversal de la musculatura analizada, y cuando se comparó la potencia pico tras un ejercicio de salto, está disminuyó en menor intensidad en el grupo de entrenamiento y la recuperación tras el ejercicio fue más rápida.

La segunda investigación a destacar fue el estudio Women international Space Simulation for Exploration (WISE), que examinó respuestas endocrinas, hemodinámicas y de la capacidad aeróbica en mujeres jóvenes durante un periodo de reposo de 60 días (Schneider, 2009; Guinet, 2009). El primero de ellos concluyó que, aunque el consumo máximo de oxígeno disminuye de forma parecida en ambos grupos, el que entrenó con dispositivos isoinerciales permitió una recuperación más rápida de la posición vertical. Y en el segundo estudio se analizó la tolerancia ortostática entre grupos, llegando a la conclusión que, aunque no había mejoras significativas, sí se encontraron mejoras en varias respuestas hemodinámicas en el grupo de la intervención.

Existen otros estudios que investigaron los efectos de la movilidad reducida o la descarga de un miembro, sobre la masa y la función del músculo y el efecto del entrenamiento con tecnología isoinercial en estas circunstancias. Alkner et al. (Alkner, 2003) realizaron un estudio con 4 sujetos durante 110 días simulando un ambiente semejante al de la Estación Espacial Internacional, implementándose un programa de 5 ejercicios básicos con el entrenamiento isoinercial 2-3 veces por semana. Los días de no actividad se ejercitaron en cicloergometro, observándose un mantenimiento de la fuerza, así como un aumento en algunos grupos musculares estudiados. Y por su parte, Tesch et al., (Tesch, 2004) examinaron la eficacia del entrenamiento isoinercial para prevenir la atrofia muscular durante un periodo de descarga unilateral de un miembro inferior durante 5 semanas, observándose un aumento de la fuerza frente al grupo control.

En función de lo expuesto anteriormente se puede concluir que el uso del entrenamiento mediante tecnología isoinercial preserva e incluso aumenta la masa muscular y la fuerza en los grupos musculares ejercitados, tanto en estado de reposo prolongado como en descarga de un miembro. Además se mantiene la función muscular, así como la potencia, se reduce la velocidad de la atrofia en reposo y se atenúa la pérdida de masa ósea.

Con base en la evidencia de los estudios anteriores, hacia 2008 ya se habían perfeccionado algunos de los programas para entrenar astronautas, siendo publicados por Hueser et al., (Hueser, 2008). En ellos se describen las características del modelo de dispositivos con volantes inerciales que se usa en vuelos espaciales y se presenta

un plan de ejercicios de acondicionamiento a cumplir de manera obligatoria por los astronautas en el vuelo.

Por otro lado, se han llevado a cabo estudios realizados en contextos distintos a la prevención de la atrofia, cuyos resultados han aportado mayor evidencia científica sobre la efectividad del entrenamiento isoinercial, sobre todo verificando respuestas agudas y comparando con dispositivos convencionales que dependen de la gravedad (Berg y Tesch, 1994; Norrbrand, 2008 y 2011; Onambele, 2008; Tous-Fajardo, 2006; Caruso, 2010; Fernández-Gonzalo, 2011).

Resumiendo los estudios mencionados sobre los efectos crónicos del entrenamiento con tecnología isoinercial en distintas poblaciones, se puede concluir que: (i) aumenta la hipertrofia; (ii) hay mayor sobrecarga excéntrica con mayor activación electromiográfica durante esta fase; (iii) se gana fuerza excéntrica; (iv), potencia de miembros inferiores y, por último, (v) se produce un aumento en la máxima contracción voluntaria en el cuádriceps. En general se producen adaptaciones músculo-esqueléticas iguales o mayores que en el entrenamiento estándar con pesas.

Sobre los entrenamientos realizados con dispositivos isoinerciales, casi todos los estudios se enfocan en miembros inferiores. En la mayoría de ellos los planes de entrenamiento se periodizaron en 5 semanas con sesiones cada tres días, realizando 4 series de 7 repeticiones al máximo de la capacidad del ejecutante. En estos estudios se querían demostrar la eficacia para combatir el desacondicionamiento muscular así como las ganancias de fuerza e hipertrofia, requiriéndose menos tiempo que el de sistemas dependientes de la gravedad para consolidar estos efectos en entrenamientos con una duración de entre 5 y 15 semanas (Trappe, 2004, Tesch, 2004, Norrbrand, 2008 y 2010).

En cuanto a la carga de trabajo, se sabe que la resistencia a vencer se establece por el momento de inercia de los volantes utilizados y que a su vez dependen de su radio y masa. Del tipo de volantes que más se ha informado en las diferentes investigaciones, es el que está hecho de polímero con densidad 1,4 Kg/cm<sup>3</sup>, tiene 44 cm de diámetro y 20 mm de espesor para un momento de inercia de 0,1105 kg/m<sup>2</sup> (Caruso, 2003; Trappe, 2004; Tesch, 2004; Tous, 2006; Norrbrand, 2008, 2010). Momento de inercia que también se ha obtenido con dos volantes de 2,5 Kg (Tesch, 2004).

Sobre este tema, son pocos los estudios que existen sobre el efecto agudo de distintas formas de carga inercial en un mismo sujeto. El único destacable es el de Tous et al, (Tous, 2006), donde se empleó dos clases de volantes inerciales en jugadores de fútbol y rugby, en una máquina de volantes inerciales para músculos isquiotibiales. En el mismo encontraron rendimientos distintos en la potencia manifestada, concluyendo que con un momento de inercia menor podría favorecerse la fuerza y la velocidad,

y con uno mayor, la sobrecarga excéntrica; por otro lado también se sugirió que la experiencia de los individuos en el manejo de esta tecnología puede influir en la efectividad de dicha sobrecarga.

A continuación detallamos los estudios más relevantes sobre los diferentes aspectos estudiados con los dispositivos isoinerciales.

Encontramos varios estudios que han comparado el uso de dispositivos isoinerciales con métodos dependientes de la gravedad, entre ellos destacamos el estudio de Onambele et al (Onambele, 2008) sobre 24 hombres y mujeres mayores, donde analizaron la fuerza del cuádriceps, llegando a la conclusión de que el grupo que utilizó el entrenamiento isoinercial mejoró la potencia dinámica del cuádriceps y favoreció la mejora del equilibrio al mejorar la fuerza de los flexores plantares, si bien es cierto que en la medición de la fuerza del cuádriceps el grupo control obtuvo mejores resultados. Por lo tanto se puede afirmar que la tecnología isoinercial por sus características especiales mejora la actividad dinámica funcional y el equilibrio.

Continuando con las investigaciones sobre la influencia del entrenamiento isoinercial en la fuerza y activación del cuádriceps en diferentes ejercicios y poblaciones, es interesante señalar los trabajos del grupo de Norrbrand et al. En ellos se analizan, en la población sana no entrenada, el efecto de este tipo de dispositivos sobre la fuerza y la activación del cuádriceps, llegando a la conclusión de que aumenta la hipertrofia en todo el cuádriceps por la sobrecarga excéntrica, sin embargo en el grupo control solo aumentó en una porción muscular, también aumenta la máxima contracción voluntaria y, por último, induce adaptaciones mayores ó iguales que un entrenamiento estándar (Norrbrand, 2008). Por otro lado, y en cuanto a la activación muscular de cuádriceps se refiere, el grupo de investigación llegó a la conclusión que el entrenamiento isoinercial aumenta la activación, medido con EMG, de la máxima contracción voluntaria, denotando sobrecarga excéntrica pre – y post entrenamiento en el grupo del entrenamiento isoinercial (Norrbrand, 2010). Sobre la influencia en sujetos sanos entrenados, este mismo grupo concluyó en un estudio sobre el ejercicio de sentadilla en 10 hombres entrenados de fuerza, que el grupo de entrenamiento isoinercial estimuló el músculo cuádriceps más que la sentadilla convencional, con un aumento de la activación, medido con EMG, en fase excéntrica sobre el músculo del cuádriceps (Norrbrand, 2011).

En cuanto a los estudios que verifican los efectos agudos o crónicos del entrenamiento con dispositivos isoinerciales destacamos, en primer lugar el estudio de Tous-Fajardo et al. (Tous, 2006), donde se analiza la fuerza de isquiotibiales sobre 20 jugadores de fútbol y rugby con y sin experiencia, llegando a la conclusión que la potencia influye de diferente manera según la carga y la experiencia con el uso del dispositivo, favoreciéndose el desarrollo de la fuerza y la velocidad con momentos de inercia menores y la sobrecarga excéntrica con momentos de inercia mayores.

En otra investigación, Caruso et al. 2006 (Caruso, 2006) evaluaron la fuerza del tríceps sural sobre 13 hombres y 18 mujeres activas, llegando a la conclusión que existía mayor generación de fuerza en hombres que en mujeres. Aunque algunos resultados medidos con EMG con respecto al rendimiento parecen atípicos en comparación con los observados con ejercicio estándar, por lo que se debe investigar más sobre este punto.

En la evaluación de la fuerza del cuádriceps y su área de sección transversal sobre 11 hombres activos, Seynnes et al. (Seynnes, 2007) llegaron a la conclusión de que se aumenta la contracción voluntaria máxima y la activación medida con EMG en el grupo de intervención, además aumenta el área de sección transversal del cuádriceps y la longitud del fascículo. También se producen cambios en el ángulo de penetración del músculo.

El grupo de Caruso et al. (Caruso, 2010) investigó sobre 14 hombres y 14 mujeres activas, las medidas fisiológicas de lactato y hormonas, concluyendo que el trabajo concéntrico y excéntrico tuvo respuestas más adecuadas en los distintos género en respuestas hormonales y velocidad angular, pero pocas según tipo de contracción. Este mismo grupo además de medir los parámetros anteriores sumaron la medición de la testosterona sobre 7 hombres y 10 mujeres de diferente nivel de aptitud, llegando a la conclusión que la potencia media y la masa corporal explicaron mejor la varianza de las concentraciones de testosterona post entrenamiento en trabajo concéntrico/excéntrico con el uso de dispositivos isoinerciales que con el uso de entrenamiento convencional.

Por último el grupo de Fernández Gonzalo et al. (Fernández Gonzalo, 2011) evaluó la diferencia entre sexos en la potencia muscular y la creatinquinasa (CK) en 16 hombre y 16 mujeres saludables y moderadamente activos. Los resultados concluyeron que el daño muscular no interfiere en los efectos del entrenamiento con dispositivos isoinerciales, ya que se aumenta la 1-RM y la potencia en ambos sexos, aunque es ligeramente mayor en hombres y además se aumenta la masa muscular en ambos sexos.

## 2.7. Justificación de la tesis doctoral.

Gracias a los avances técnicos y tecnológicos que se producen de manera continua en el mundo de la actividad física y la salud, disponemos de un gran abanico de novedosas posibilidades para la mejora en los ámbitos de la prevención y recuperación de lesiones músculo-esqueléticas. Una de ellas, como hemos visto en el apartado anterior, es el entrenamiento isoinercial, que, mediante el uso de dispositivos de volantes inerciales, nos permite obtener estímulo de sobrecarga excéntrica tan importantes e interesantes para la consecución de objetivos terapéuticos y de readaptación de patologías mio-tendinosas.

Basándonos en el conocimiento que existe a día de hoy gracias a la gran evidencia científica publicada al respecto de la efectividad del ejercicio excéntrico en la prevención y recuperación de lesiones músculo-tendinosas, podemos llegar a pensar que, si disponemos de un dispositivo que, gracias a su diseño y a su mecanismo de funcionamiento, produce un estímulo de sobrecarga excéntrica, es probable que sea una herramienta eficaz para el tratamiento de las patologías señaladas, ya que es precisamente esa acción excéntrica la que produce los beneficios en la mejora de las tendinopatías y de las diferentes patologías musculares.

Es cierto que existen numerosos estudios de investigación sobre el uso de los dispositivos inerciales en el rendimiento muscular, la fuerza y la potencia muscular, pero no así en la relación de estos dispositivos con la prevención y recuperación de lesiones. Es por ello por lo que se hace necesario realizar una revisión sistemática sobre el uso del entrenamiento isoinercial mediante el uso de dispositivos con volantes inerciales, en la prevención y/o tratamiento de las lesiones músculo-tendinosas del miembro inferior. Dichos hallazgos permitirán concluir acerca de la evidencia científica para su prescripción o no en esta región corporal.

Paralelamente, hoy día existe un gran interés por encontrar la mejor modalidad de ejercicio terapéutico posible para el tratamiento de lesiones músculo-esqueléticas en el miembro superior. Existe evidencia del buen efecto de dicha terapia en estas alteraciones, pero no información concluyente sobre qué tipo de modalidad podría obtener mejores resultados en el cuadrante superior. Por este motivo, son necesarios estudios que analicen la efectividad de esta técnica en disfunciones del miembro superior.

Por todo ello se propuso la redacción de este trabajo, el cual mediante la publicación de dos artículos a nivel internacional, permitirá poner las bases del conocimiento sobre la tecnología isoinercial en el ámbito de la prevención y rehabilitación de lesiones en el miembro inferior, y sobre la aplicación de esta en patologías de miembro superior.



Estos hechos son los que me han motivado para llevar a cabo esta tesis la cual está dividida en tres grandes secciones.

Una primera parte compuesta por una introducción que nos sirve de aproximación al asunto del que se va a hablar en el documento y un repaso de todos los aspectos relacionados con el mismo, incluidos en un marco conceptual exhaustivo y profundo.

En una segunda parte se realizará una revisión sistemática, que se encuentra bajo revisión, en una revista científica internacional, sobre los efectos del entrenamiento isoinercial en la prevención y manejo de las lesiones músculo-tendinosas en el miembro inferior.

En una tercera parte se plantea un protocolo de estudio, que, al igual que ocurre con el segundo capítulo, será el primer artículo publicado en una revista internacional sobre la relación de las lesiones tendinosas de miembro superior y el entrenamiento isoinercial, y donde se pondrá en marcha una propuesta de investigación con un estudio controlado aleatorizado de los efectos del entrenamiento isoinercial sobre las tendinopatías del manguito de los rotadores del hombro.

## **CAPÍTULO III**

### **OBJETIVOS**







UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

**Objetivo principal:**

- Comprobar la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones músculo-tendinosas.

**Objetivos secundarios:**

- Explorar el efecto sobre el dolor y la función del uso de la tecnología isoinercial en patología músculo-tendinosa de miembro inferior.
- Analizar el efecto de el entrenamiento isoinercial en la recuperación de lesiones músculo-tendinosas de miembro inferior.
- Concluir acerca de cómo la metodología isoinercial puede modificar cualidades físicas básicas como la fuerza, la potencia de salto y la velocidad.
- Determinar cuál es el estado actual de la evidencia de la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención de lesiones músculo-tendinosas de miembro inferior.
- Definir y proponer un protocolo de estudio para comprobar la efectividad del entrenamiento isoinercial en las tendinopatías del manguito de los rotadores del hombro.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **CAPÍTULO IV**

### **REVISIÓN SISTEMÁTICA**

“Efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones deportivas de miembro inferior: revisión sistemática” (Ver publicaciones 1).



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

#### 4.1. RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones deportivas de miembros inferiores. Realizamos una búsqueda sistemática en las siguientes bases de datos electrónicas, desde los primeros registros encontrados hasta junio de 2016, usando estrategias de búsqueda optimizadas: Medline, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus y Physiotherapy Evidence Database (PEDro). La selección de los estudios se basaron en ensayos clínicos aleatorizados y estudios clínicos que probaron el valor preventivo y / o terapéutico del entrenamiento isoinercial en lesiones deportivas de miembro inferior (LLSI). Para evaluar la calidad de los estudios y la calidad de la evidencia se utilizó la escala PEDro y el sistema de Evaluación, Desarrollo y Evaluación de las Calificaciones (GRADE). La estrategia de búsqueda arrojó 2.346 resultados. Cuarenta y ocho documentos de texto completo se evaluaron para la selección y 5 artículos cumplieron los criterios de inclusión. Las medidas de los resultados incluidos en esta revisión fueron las siguientes: función-dolor, amplitud de movimiento, rendimiento muscular, fuerza muscular, días de ausencia por lesión, velocidad de carrera y dolor muscular tardío (DOMS por sus siglas en inglés). Basándonos en la limitada evidencia disponible, el entrenamiento isoinercial utilizando un dispositivo con volantes inerciales, es un buen método para la prevención (mayor rendimiento muscular, fuerza muscular, velocidad de carrera y menor número de días de ausencia por lesión) y en la recuperación (disminución de la intensidad del dolor y la mejora de la función) de LLSI. Sin embargo, la calidad de la evidencia de estos hallazgos es muy baja, y se necesitan más investigaciones.

#### Aplicaciones prácticas

Los médicos y los profesionales de medicina deportiva podrían considerar el uso de entrenamiento isoinercial, no solo en la población deportiva si no también en la población general, ya que con este enfoque se podría mejorar el dolor, la función, el rendimiento muscular y/o la fuerza muscular, elementos que están asociados a una gran variedad de trastornos músculo-esqueléticos que afectan a la población atlética como no atlética.

Palabras claves: dolor músculo-esquelético; ejercicio terapéutico; entrenamiento con sobrecarga excéntrica; volantes inerciales; entrenamiento isoinercial.

## 4.2. INTRODUCCIÓN

Las lesiones de miembro inferior (LMI) son uno de los desordenes músculo-esqueléticos más comunes en el deporte (Zuckerman, 2016; Roos, 2016). Su prevalencia oscila en un rango de 1,7 a 53 x 1000h. durante la competición y de 0,8 a 90 x 1000h. en los entrenamientos (Osorio, 2007), teniendo un gran impacto socio-económico en la población deportiva. Una posible explicación de esta prevalencia podría ser las acciones de impacto continuo a través de recortes, saltos y/o sprints que predispone a los atletas a sufrir LMI (Fuller, 2006). Dentro de la gran variedad de lesiones de miembro inferior, las patologías del músculo y del tendón son las de más incidencia dentro del campo del deporte (Noya, 2014; Moreno, 2008; Chamorro, 2009). Las lesiones musculares están asociadas con esfuerzos excéntricos de alta intensidad, mientras que las lesiones de tendón están más relacionadas con alteraciones biomecánicas debido a altos volúmenes de entrenamiento o al sobreuso de estructuras implicadas en el deporte (Lorenz, 2011; Sharma, 2008; Brughelli, 2008).

Existen muchas estrategias terapéuticas no quirúrgicas para aliviar los síntomas de las lesiones de miembro inferior tales como los estiramientos, las manipulaciones, la electroterapia, el ejercicio terapéutico y/o las inyecciones de corticosteroideos (Cook, 2016; Malliaras, 2013; Rowe, 2012). Dentro de estas terapias, el ejercicio terapéutico parece ser una de las estrategias más utilizadas por su efectividad y bajo coste (Littlewood, 2015; Kountouris, 2007). Dentro del ejercicio terapéutico, el ejercicio excéntrico está ganando mucha importancia en la prevención y tratamiento de las lesiones musculares en el deporte (Camargo, 2014; Frizziero, 2014). Se ha llevado a cabo varios protocolos para reducir el dolor y mejorar la función en atletas a través del ejercicio excéntrico (Silbernagel, 2001 y 2015; Stasinopoulos, 2013).

En esta línea, el entrenamiento isoinercial (una modalidad de entrenamiento excéntrico), utilizando dispositivos con volante inerciales, ha emergido como un método que permite acelerar durante la fase concéntrica del ejercicio y una desaceleración que lleva a una interrupción de la fase excéntrica (más corta), obteniendo una sobrecarga excéntrica (Norrnbrand, 2010). La evidencia ha demostrado buenos resultados en el uso del entrenamiento isoinercial en el aumento de la fuerza, la velocidad y la resistencia muscular en diferentes atletas (Tous, 2006; Norrnbrand, 2010). Además, este entrenamiento parece ser un prometedor método para reducir dolor e inestabilidad en desordenes músculo-esqueléticos (Gual, 2016; Romero-Rodríguez, 2011). Sin embargo, desde nuestro conocimiento, no existe una síntesis de la evidencia acerca de la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y rehabilitación de lesiones deportivas músculo-esqueléticas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue revisar y sintetizar sistemáticamente la literatura sobre la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones deportivas de miembro inferior (LDMI).

### 4.3. MÉTODO

La revisión fue dirigida de acuerdo con la declaración de “Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)” (Liberati, 2009), basado en un protocolo predefinido disponible en el “International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO: CRD42016038419)”. Los métodos de análisis y los criterios de inclusión fueron especificados más adelante.

#### Fuentes de Datos y Estrategias de Búsqueda.

Realizamos una búsqueda sistemática en las siguientes bases de datos electrónicas, desde los primeros registros encontrados hasta junio de 2016, usando estrategias de búsqueda optimizadas: MEDLINE, SCOPUS, Web of Science y Physiotherapy Evidence Database (PEDro). La búsqueda de citas fue llevada a cabo en estudios seleccionables y también en revisiones relevantes publicadas anteriormente con el fin de identificar estudios perdidos por la búsqueda electrónica. Se utilizó una estrategia de búsqueda sensible con los siguientes términos de búsqueda: “sport medicine” [Término Mesh], “therapeutics” [Término Mesh], “return to sport” [Término Mesh], “tendon injuries” [Término Mesh], “tendinopathy” [Término Mesh], “musculoskeletal pain” [Término Mesh], “musculoskeletal disease” [Término Mesh], isoinertial training, isoinertial device, isoinertial tool, flywheel training, eccentric overload training, prevention, treatment, sport injuries, musculoskeletal disorders, musculoskeletal complaint.

#### Criterios de Selección.

Los criterios de inclusión fueron descritos en terminología PICOS. Esta revisión sistemática intentó seleccionar aquellos artículos que han descrito los efectos del entrenamiento isoinercial usando dispositivos con volantes inerciales (I) frente a otras intervenciones (entrenamiento excéntrico, entrenamiento isocinético, entrenamiento concéntrico, fisioterapia o placebo) (C), en población deportiva (P), en el rendimiento deportivo (fuerza muscular, velocidad de carrera, altura de salto) o recuperación tras lesión (dolor, funcionalidad, rango de movimiento (ROM por sus siglas en inglés)) (O) de los síntomas, número de días de ausencia por lesión y dolor muscular tardío (DOMS por sus siglas en inglés). Para este propósito, fueron incluidos ensayos clínicos aleatorizados (ECAs) y estudios clínicos (S) escritos en inglés. Para los criterios de inclusión fueron considerados participantes de cualquier entorno deportivo-sanitario (población general, atención primaria y/o especializada y población deportiva). Fueron incluidos los estudios que analizaron lesiones músculo-esqueléticas solo si los datos de las lesiones deportivas de miembro inferior eran informados de manera separada. No fueron aplicadas restricciones de edad, género y duración de seguimiento. Los estudios que analizaron a atletas sanos fueron incluidos solo cuando los datos de la evaluación prospectiva se referían a lesiones de miembro inferior. Los estudios que analizaron las muestras con lesiones deportivas de miembro inferior debido a enfermedades sistémicas (como una artritis reumatoide, osteoartritis, fibromialgia y/o



polimialgia reumática) fueron excluidos. Para incrementar la generalización de los resultados, también fueron excluidos los estudios basados en el análisis secundario del conjunto de datos de los ensayos clínicos y los estudios que no evaluaron objetivos de prevención y de rehabilitación.

### **Selección de Estudios.**

Todos los estudios identificados por la estrategia de búsqueda fueron cribados usando los criterios de elección seleccionados previamente. La primera etapa de evaluación incluyó la revisión de títulos y resúmenes por un revisor (FGA). Dos revisores (FGA y JMC) emprendieron la segunda etapa, cribando el texto completo. En caso de desacuerdo la decisión se tomaba por consenso, si era necesario, era consultado un tercer revisor (ALS).

### **Extracción de datos.**

Dos revisores independientes (FGA y JMC) extrajeron la siguiente información de cada estudio: resultados, participantes, entorno / área, tipo de grupo, método de evaluación de los resultados, duración del seguimiento y estrategia de tratamiento. Si alguna discrepancia fue encontrada entre los dos revisores, un tercer revisor (ALS) era consultado. Cuando fue necesario, los autores originales fueron contactados por correo electrónico para proporcionar más información sobre los datos de los participantes.

### **Valoración de Calidad.**

La calidad metodológica de los estudios incluidos se evaluó mediante una lista de verificación basada en la Escala PEDro (Maher, 2003). La lista de verificación consta de once criterios, denominados: especificación de criterios de elegibilidad, asignación aleatoria, cegamiento de la asignación, grupos similares en la línea de base, cegamiento de los participantes-terapeutas y/o asesores, una tasa de seguimiento mayor del 85%, intención del tratamiento, los resultados de las comparaciones estadísticas inter-grupos se informan para al menos un resultado clave, medidas puntuales y medidas de variabilidad para al menos un resultado clave. FGA y JMC llevaron a cabo este proceso y cuando se encontró algún desacuerdo un tercer revisor (ALS) era consultado.

Para valorar la calidad general de la evidencia de los resultados, se utilizó la metodología GRADE (Grading of ecommendations Assessment, Development and Evaluation) (Atkins, 2004). En resumen, la clasificación GRADE se basa en el análisis de los siguientes puntos: (1) limitación de diseño (> 25% de los participantes de los estudios con baja calidad metodológica), (2) inconsistencia de los resultados (amplia varianza de puntos estimados a través de los estudios o gran heterogeneidad entre los estudios: 12 >50%), (3) imprecisión (<400 participante por cada resultado), y (4) sesgo de información. Dos revisores (ALS y FGA) juzgaron si estos factores estaban

presentes por cada resultado. La calidad de la evidencia fue definida como (1) alta (no es probable que la investigación adicional cambie nuestra confianza en la estimación del efecto y no hay conocimiento o sospecha de sesgos de información: todos los dominios se cumplen). (2) Moderada (es poco probable que más información adicional tenga un efecto importante sobre nuestra confianza en la estimación del efecto y podría cambiar la estimación: uno de los dominios no se cumple). (3) Bajo (es poco probable que información adicional tenga un efecto importante sobre nuestra confianza en la estimación del efecto y es probable que cambie la estimación: dos de los dominios no se cumplen). Muy bajo (no estamos seguros de la estimación: tres de los dominios no se cumplen) (Guyatt, 2008).

### **Análisis Estadístico.**

Para el análisis primario, los estudios fueron agrupados según los resultados (rendimiento muscular, fuerza muscular, número de días de ausencia por lesión, velocidad de carrera, DOMS, ROM y dolor-función). Se planificó un meta-análisis cuantitativo siempre y cuando los estudios proporcionasen una medida de resumen (razón de proporción, riesgo relativo, diferencia significativa estandarizada o ponderada, etc.) con 95% de intervalo de confianza como medida de precisión.

La agrupación de los resultados no fue posible a causa de la heterogeneidad entre los estudios en términos de participantes, resultados, métodos estadísticos utilizados y duración del seguimiento por lo que el meta-análisis no fue llevado a cabo. En este caso, proporcionamos resultados descriptivos cuantitativos (el resumen de la medida más relevante con una estimación de la precisión) para cada estudio. Para los estudios que informaron resultados con diferentes grados de ajuste para los factores de confusión en diferentes modelos, se extrajo la estimación del modelo más ajustado para presentar en la figura.

Para el procesamiento de los datos que se utilizó a lo largo de la revisión el software de Comprehensive Meta-Analysis version 2.2 (Englewood, NJ, USA, 2008), el software GRADEpro (Schünemann, 2015) y el software Review Manager (RevMan) versión 5.3.

## **4.4. RESULTADOS.**

### **Características del Estudio.**

Un total de 2,306 citas fueron identificadas tras el análisis de las diferentes bases de datos, seleccionando 330 títulos y resúmenes, y evaluando el texto completo de 48 de esos artículos. Se registró el número de estudios recuperados de cada base de datos y el número de estudios excluidos en cada fase de cribaje (Figura 6).

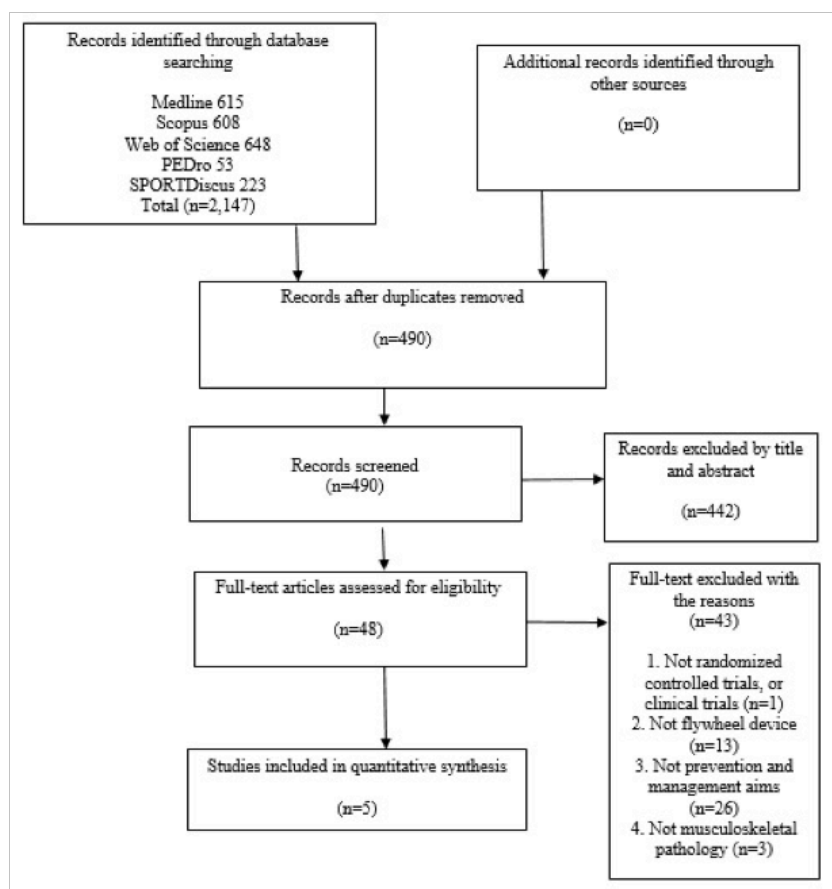


Figura 6. Diagrama de flujos del proceso de revisión.

De esos, 5 estudios experimentales (158 participantes) cumplían nuestros criterios de inclusión y fueron, por tanto, incluidos en esta revisión (Gual, 2016; Raeder, 2016; Abat, 2014; Askling, 2003; De Hoyo, 2014). La duración del seguimiento fluctuó desde los 30 minutos post-intervención a los 2 años. Todos los estudios incluidos fueron artículos publicados. Todos los estudios evaluaron participantes de población deportiva (Gual, 2016; Raeder, 2016; Abat, 2014; Askling, 2003; De Hoyo, 2014).

Solo un estudio se realizó con participantes lesionados (Abat, 2014). La definición de los objetivos varió a través de los estudios siendo los más comunes la fuerza muscular (Gual, 2016; Raeder, 2016; Askling, 2003), y altura de saltos (Gual, 2016; Raeder, 2016; De Hoyo, 2014), seguidos por dolor-función (Gual, 2016; Abat, 2014), número de días de ausencia por lesión (Askling, 2003; De Hoyo, 2014), velocidad de carrera (Askling, 2003), ROM (Askling, 2003) y DOMS (Raeder, 2016). Las características de los estudios incluidos están reflejadas en la Tabla 5.

Estudio	Participantes	Entorno/ Área	Resultados	Intervención	Seguimiento	Diseño
Abat et al. 2014 (31)	n=33  Edad: 16 ± 53  Patología: tendinopatía rotuliana insercional.	Población deportiva/ España	Dolor-Función: The Victorian institute of sport assessment for the patella tendon (VISA-P) y escala Tegner.	Ambos grupos recibieron una semana de sesiones con Electrolisis Percutánea Intratisular (EPI) y 2 semanas de sesiones de ejercicio excéntrico usando una máquina de Resistencia isoinercial (YoYo Technology): 3 series de 10 repeticiones.	Al inicio de la investigación (t1); al alta (t2); 3 meses (t3); 2 años (t4)	Estudio cuasi- experimental
Askling et al. 2003 (32)	n=30  Edad: 22 ± 29  Sin patología.	Población deportiva/ Suecia.	Fuerza muscular: Kinetic communicator  Velocidad de carrera: test de carrera medida con fotocélulas. ROM: flexometro.  Días de ausencias por lesión: registrado e informado por los respectivos equipos médicos	Grupo de entrenamiento: 16 sesiones de entrenamiento de fuerza específico de Isquiotibiales (ejercicio concéntrico y excéntrico con ergómetro de rueda de volante de YoYo Technology).  Grupo control: mismo ejercicio pero sin ergómetro de rueda de volante)	Primeras 10 semanas (t1); 11-46 semanas (t2).	ECA

Estudio	Participantes	Entorno/ Área	Resultados	Intervención	Seguimiento	Diseño
De Hoyo et al. 2015 (33)	n=36  Edad: 17 ± 19  Sin patología	Población deportiva / España	Rendimiento muscular: test de salto contramovimiento y test de sprint 10-m y 20-m. Días de ausencia por lesión: registrado e informado por los respectivos equipos médicos	Grupo de entreamiento de sobrecarga excéntrica: entrenamiento habitual técnico/táctico de futbol + programa de entrenamiento concéntrico y excéntrico 1 o 2 veces por semana durante 10 semanas con dispositivo de rueda de volante 3 × 6 repeticiones en semana 1 a 4, 4 × 6 repeticiones en semana 5 y 6, 5 × 6 repeticiones en semana 7 y 8, y 6 × 6 repeticiones en semana 9 y 10.  Grupo control: entrenamiento habitual técnico/táctico de futbol	1 semana antes y 1 semana después de la intervención de 10 semanas de duración.	Ensayo controlado no-randomizado.
Gual et al 2015 (23)	n=44  Edad: 19 ± 30  Sin patología	Población deportiva/ España.	Dolor-Función: VISA-P. Altura de salto: salto de la altura contramovimiento usando software (Chronojump-Boscosystem)  Fuerza muscular: potencia en sentadilla con dispositivo YoYo Technology.	Grupo experimental: rutina de ejercicios habituales de baloncesto/voleibol + entrenamiento de sentadilla con sobrecarga excéntrica con resistencia inercial en rueda de volante, una vez por semana durante 24 semanas.  Grupo control: rutina de ejercicios habituales de baloncesto/voleibol	Al inicio de la investigación: (t1); 3 meses (t2); 6 meses (t3)	RCT

Estudio	Participantes	Entorno/ Área	Resultados	Intervención	Seguimiento	Diseño
Raeder et al. 2016 (30)	n=15  Edad: 21 ± 25  Sin patología.	Población deportiva/ Alemania.	Rendimiento muscular:  test de salto contramovimiento con plataforma de contacto y test de salto con multiples rebotes con plataforma de contacto.  Fuerza muscular: test de fuerza de contracción isométrica máxima voluntaria con multitainer 7812-000 y el uso de un software análogo y test fuerza máxima a 1 repetición con máquina Smith  DOMS: CR-10 Escala RPE.	Todos los participantes llevaron a cabo 5 ejercicios de sentadilla: 1. Series múltiples (4x6 r); 2. Drop sets (4x6 r); 3. Sobrecarga excéntrica (4x6 r); 4. Entrenamiento con rueda de volante (YoYo) (4x6 r); 5. Saltos de pliometría (4x15 r)	Al inicio (t1); 30 minutos' post-intervención (t2); 24h post-intervención (t3); 48h post-intervención (t4)  Seguimiento total: 8 semanas.	Cuasi-experimental

Tabla 5. Características de los artículos incluidos.

### Calidad Metodológica.

El grado en el que los estudios cumplían los criterios de calidad variaba considerablemente. La evaluación metodológica de la calidad de todos los estudios incluidos se presentan en las figuras 7 y 8. Todos los estudios especificaron los criterios de inclusión (100%), mientras que solo dos estudios llevaron a cabo una asignación aleatoria (40%). Sin embargo, ningún estudio ocultó la asignación de participantes ni cegó el tratamiento a dichos participantes, terapeutas y asesores para el objetivo. Tres estudios tuvieron grupos similares en la base inicial (60%). Cuatro estudios tuvieron < 15% tasa de abandono (80%), y tres estudios llevaron a cabo análisis de intención para tratar (60%). Cuatro estudios informaron de las diferencias intergrupos (80%), mientras que todos los estudios informaron de estimación puntual y variabilidad (100%).

Ningún estudio cumplió todos los criterios. Los defectos metodológicos más comunes fueron la ausencia de asignación oculta a intervención y el cegamiento de los participantes, terapeutas y evaluadores.

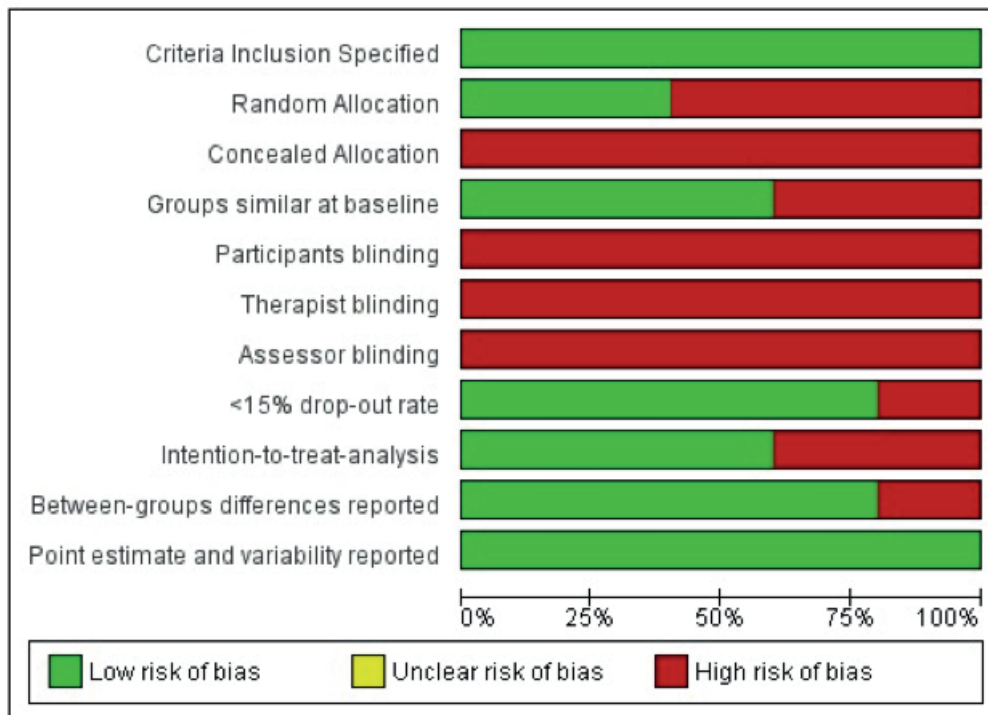


Figura 7. Gráfico de riesgo de sesgo: Revisión de los juicios de los autores sobre cada riesgo de sesgo presentado como porcentajes en todos los estudios incluidos.

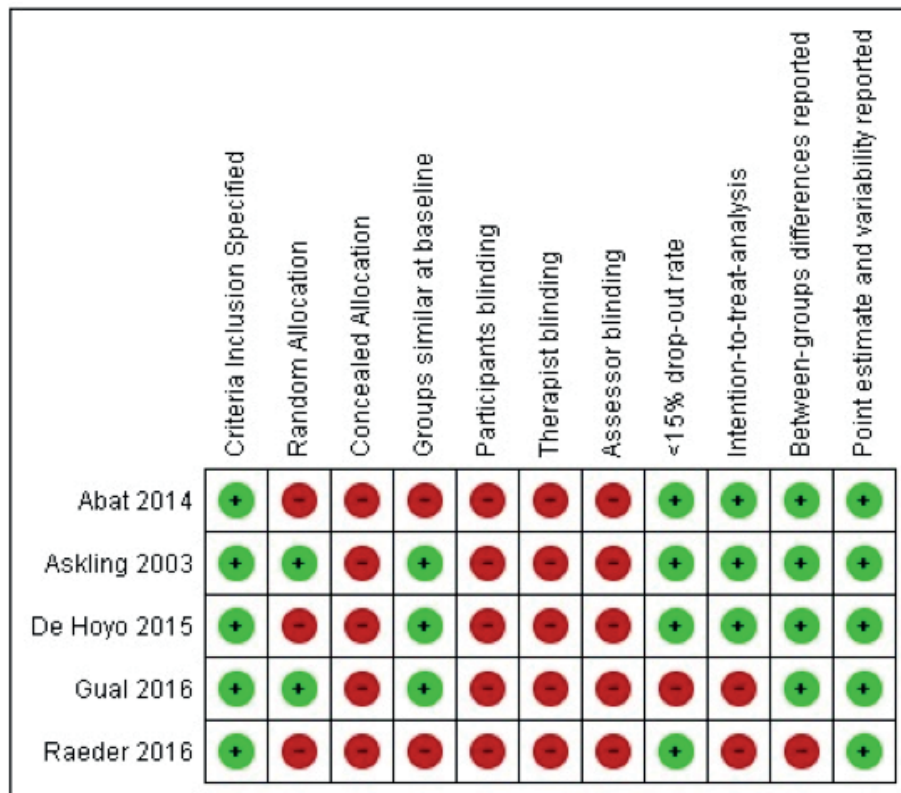


Figura 8. Resumen del riesgo de sesgo: Revisión de los juicios de los autores sobre cada punto de riesgo de sesgo para cada estudio incluido.

Efectos del entrenamiento isoinercial en lesiones deportivas de miembro inferior.

La calidad de la evidencia de los efectos del entrenamiento isoinercial en la prevención y la rehabilitación de lesiones deportivas de miembro inferior se resumen en la tabla 6:

Resumen de hallazgos				Calidad de la valoración de la evidencia (GRADE)						
Resultado	Nº de estudios	Diseño	No. De participantes	Riesgo de sesgo	Inconsistencia	Indirecta	Imprecisión	Otras consideraciones	Calidad	Importancia
Entrenamiento isoinercial & electrolisis percutánea intratisular (EPI)										
Dolor-Función	1	Cuasi-experimental	33	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Crítica
Entrenamiento Isoinercial & Entrenamiento Concéntrico y/o Entrenamiento Excéntrico										
Fuerza muscular	3	ECAs, cuasi-experimental y ensayo controlado	89	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Crítica
Velocidad de carrera	1	Cuasi-experimental y ensayo controlado	30	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Crítica
Rendimiento muscular	2	ECAs, cuasi-experimental y ensayo controlado	95	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Crítica
Do-lor-Función	1	ECAs	44	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Crítica
Días de ausencia por lesión	2	ECAs y ensayo controlado no aleatorizado	66	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Crítica
DOMS	1	Cuasi-experimental	15	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	N/A	⊕000 VERY LOW	Importante
ROM	1	ECAs	30	Muy serio1	Muy serio2	Muy serio3	Muy serio4	Informe de sesgo	⊕000 VERY LOW	Importante

Tabla 6. Resumen de los hallazgos y calidad de la valoración de la evidencia.



1. Se encontró heterogeneidad en los cuestionarios usados para medir las variables. También se halló heterogeneidad en los parámetros estadísticos para describir los resultados sobre la variable. No había similitudes entre los centros-entornos donde fueron tomadas las muestras. 2. No se realizó ni cegamiento ni de los evaluadores ni de los participantes en cuanto al conocimiento de los datos basales ni de los objetivos del estudio. 3. Fue encontrada una variable dependiente que no aparecía en la sección de resultados. 4. No se menciona que instrumento fue usado para medir la variable.

### **Efectos del entrenamiento isoinercial en el dolor-función.**

El efecto del entrenamiento isoinercial sobre el dolor-función fue informado en dos estudios (Gual, 2016; Abat, 2014). Un estudio demostró mejoras significativas sobre el dolor-función en la rodilla, en 33 pacientes diagnosticados con tendinopatía rotuliana insercional tratados con entrenamiento isoinercial y electrolisis percutánea intratisular (EPI). Los valores de VISA-p fluctuaron entre la pre-intervención (media (DE)  $50.7 \pm 21.6$  (rango 10-90) y post-intervención: 3 meses (Media (DE)  $81.4 \pm 12.8$  (rango 55-100) y los 2 años (Media (DE)  $85.7 \pm 11.9$  (rango 60-100) (Abat, 2014). La intervención en el otro estudio (Gual, 2016) no desencadenó dolor de rodilla después de un ejercicio de sentadilla con sobrecarga excéntrica isoinercial, añadido a la rutina de entrenamiento semanal en la temporada, y realizado durante 24 semanas, en jugadores de voleibol y baloncesto. Las puntuaciones de VISA-p permanecieron estables, variando de 92,5 a 94,9 en el grupo de intervención, comparando el inicio con el final del tratamiento. La calidad de la evidencia fue muy baja.

### **Efectos del entrenamiento isoinercial sobre la altura de salto y la velocidad de carrera.**

Tres estudios evaluaron el efecto del entrenamiento isoinercial sobre la altura de salto y la velocidad de carrera (Gual, 2016; Raeder, 2016; De Hoyo, 2014). Un estudio mostró mejoras significativas en la prueba de salto contramovimiento (CMJ por sus siglas en ingles) (cms), entre la pre-intervención (media (DE)  $35,7 \pm 4,1$  (33)) y después de la intervención (media  $38,3 \pm 4,2$ ; ;). El segundo estudio midió el efecto agudo (Raeder, 2016) y mostró una disminución significativa en CMJ entre la pre-intervención (Media (DE)  $42,7 \pm 3,9$  IC del 95% (40,5-44,9)) y post-intervención de 0,5 horas (Media (DE)  $38,2 \pm 2,8$  IC del 95% (36,7-39,4)), 24 horas (media (DE)  $39,5 \pm 3,7$  IC del 95% (36,6-40,00)) y 48 horas ( $40,1 \pm 2,9$  IC del 95% (37,3-42,4)). Hubo mejoría significativa en la velocidad de carrera (tiempo para completar los sprints de 10m y 20m), entre la preintervención (media (DE)  $1,73 \pm 0,12$ ;  $3,03 \pm 0,14$ ) y después de la intervención ( $1,71 \pm 0,08$ ;  $2,99 \pm 0,12$ ), (De Hoyo, 2014). También se observó una disminución en la altura del salto de rebotes múltiple (MRJ por sus siglas en ingles), entre la preintervención (Media (DE)  $1,92 \pm 0,26$  IC del 95% (1,77-2,06)) y la post-intervención de 0,5 horas (Media (DE)  $1,65 \pm 0,33$  95% IC (1,47-1,83), 24 horas (Media (SD)  $1,73 \pm 0,37$  95% IC (1,53-1,94) y 48 horas ( $1,77 \pm 0,32$  95% IC (1,60-1,95), (Gual, 2016) el CMJ cambió en el grupo de intervención (entrenamiento isoinercial) de 31cm a 32cms. La calidad de la evidencia fue muy baja.

### **Efectos del entrenamiento isoinercial en la fuerza muscular.**

El efecto del entrenamiento isoinercial sobre la fuerza muscular se informó en tres estudios (Gual, 2016; Raeder, 2016; Askling, 2003). Dos estudios mostraron mejoras significativas en la fuerza muscular. Askling et al. (Askling, 2003) reportaron aumentos en los valores excéntricos de torque máximo entre la pre-intervención (media: 148, DE: 24) y la postintervención (media: 176, DE: 22). Gual et al., (Gual, 2016;) encontraron mejoras significativas en la potencia concéntrica en sentadillas entre pre- y post-intervención (de 308.5W a 497.5W), y en el potencia excéntrica en sentadilla (de 309W a 485.6W). Por otro lado, un estudio (Raeder, 2016) informó una disminución significativa de la fuerza muscular, medida por la contracción isométrica voluntaria máxima (MVIC por sus siglas en ingles) (newtons), entre la preintervención (media (DE)  $1,936 \pm 313$  IC del 95% (1,755-2,116) ) Y después de la intervención de 0,5 horas (media (DE)  $1,669 \pm 313$  IC del 95% (1.488-1.849), 24 horas (media (DE)  $1.839 \pm 321$  IC del 95% (1.653-2.024) y 48 horas ( $1.893 \pm 326$  95% IC (1,705-2,082) La calidad de la evidencia fue muy baja.

### **Efectos del entrenamiento isoinercial sobre la velocidad de carrera.**

El efecto del entrenamiento isoinercial sobre la velocidad de carrera sólo se informó en un estudio (Askling, 2003), mostrando una mejoría significativa entre la pre-intervención (media (DE) 3,36 (0,10)) y post-intervención (media 3,28 (0,09) Medido por el “test en carrera de 30 m”. La calidad de la evidencia fue muy baja.

### **Efectos del entrenamiento isoinercial en DOMS.**

Sólo un estudio investigó el efecto del entrenamiento isoinercial en el DOMS (Raeder, 2016), no encontrando efectos significativos ( $p > 0.05$ ). La calidad de la evidencia fue muy baja.

### **Efectos del entrenamiento isoinercial sobre el número de días de ausencia por lesión.**

El número de días de ausencia por lesión se informó en dos estudios (Askling, 2003; De Hoyo, 2014). Un estudio mostró un menor número de lesiones ( $n = 3$ ) en el grupo que utilizó entrenamiento isoinercial, en comparación con el grupo control ( $n = 10$ ) (32). En el otro estudio (33), la disminución en la gravedad de la lesión fue sustancialmente mayor (65% (CL: 90%: 10,1; 86,4) con posibilidades de valores mejores / similares / inferiores de 93/6/2% respectivamente en el grupo que utilizó el entrenamiento isoinercial que el grupo control. Una incidencia más baja (23,7% (90% de CL: -115,0; 72,9), 69/27/4%) por 1000 horas de juego fue encontrada en el grupo que utilizó entrenamiento isoinercial en comparación con el grupo de control. La calidad de las pruebas era muy baja.

## 4.5. DISCUSIÓN

### Estado de los principales hallazgos.

El objetivo de esta revisión sistemática fue evaluar la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y rehabilitación de las lesiones deportivas de miembro inferior (LDMI). Los hallazgos demuestran que el entrenamiento isoinercial, usando un dispositivo con volantes inerciales, produce mejoras en el rendimiento deportivo (mayor altura de salto, fuerza muscular, y velocidad de carrera) y en la recuperación (menor intensidad de dolor y mayor función y menor número de días de ausencia por lesión) de las LDMI. La agrupación estadística de los resultados no fue posible debido a la heterogeneidad de los participantes, las intervenciones, el tamaño de la muestra y los métodos de evaluación de los resultados. Aunque los efectos del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de las LDMI parecen ser prometedores, la calidad de la evidencia de estos hallazgos fue muy baja y la magnitud de los efectos no pudo ser determinada.

### Comparación con otros estudios.

A nuestro entender, esta es la primera síntesis de la evidencia que analiza la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y el manejo de las LDMI. Las revisiones sistemáticas anteriores han investigado los efectos de la sobrecarga excéntrica en varios trastornos musculoesqueléticos (Kingman, 2007; Nicastro, 2011). Kingman et al. (Kingman, 2007) evaluaron la efectividad del entrenamiento con sobrecarga excéntrica en pacientes con tendinopatía crónica de Aquiles. Los resultados reportados mostraron una disminución en la intensidad del dolor en pacientes con tendinopatía de Aquiles crónica, a pesar de que los efectos de la función y la participación deportiva podría no estar establecidos. Nicastro et al (Nicastro, 2011) analizaron los efectos del ejercicio de resistencia sobre los parámetros funcionales y estructurales de las condiciones atróficas no hereditarias y no inflamatorias del músculo esquelético. En esta revisión, cuatro estudios examinaron los efectos del ejercicios mediante el uso de dispositivos con volantes inerciales, mostrando que el uso de este tipo de ejercicios puede ser eficaz en la preservación o restauración de la función (fuerza y potencia) y morfología (hipertrofia y cambios fenotípicos) del sistema músculo-esquelético, en comparación con el grupo control (sin tratamiento). Sin embargo, el volumen exacto, la frecuencia de la intensidad y los intervalos de reposo de los protocolos de ejercicio con dispositivos isoinerciales en condiciones de atrofia muscular son desconocidos. Estos resultados están de acuerdo con los resultados obtenidos en esta revisión.

Por lo tanto, basándose en la evidencia recogidas en este y en otras revisiones anteriores (Kingman, 2007; Nicastro, 2011), el concepto de “entrenamiento de sobrecarga excéntrica-isoinercial”, utilizando o no un dispositivo con volantes inerciales, puede ser una buena estrategia terapéutica en la prevención y recuperación de lesiones deportivas y no deportivas. Sin embargo, todos los estudios incluidos en

la presente revisión sistemática han utilizado modelos de entrenamiento-terapéuticos que contiene entrenamiento isoinercial, así como intervenciones complementarias, como electrolisis percutánea intratisular (EPI), ejercicio aeróbico, ejercicio concéntrico y / o diferentes modalidades de ejercicio excéntrico. En todos estos estudios, el efecto del entrenamiento isoinercial en todos los resultados medidos podría estar contaminado por las intervenciones complementarias. Por lo tanto, los resultados de esta revisión sistemática deben tomarse con precaución.

### **Fortalezas y debilidades del estudio.**

Los puntos fuertes de esta revisión incluyeron el uso de un protocolo pre-especificado registrado en PROSPERO, el uso del sistema GRADE para evaluar la calidad general de la evidencia y el uso de la escala PEDro para determinar la calidad de cada estudio. Todos los procedimientos utilizados para llevar a cabo esta revisión estaban de acuerdo con las directrices actuales (Stroup,2000). Las limitaciones asociadas con este estudio deben ser reconocidas al interpretar los resultados. En primer lugar, a pesar de que esta revisión era exhaustiva con una estrategia de búsqueda robusta, utilizando una variedad de términos MeSH, sólo se consultaron las bases de datos de búsqueda electrónica, lo que plantea la posibilidad de que no se identificaran todos los estudios. Además, como se mencionó anteriormente, todos los estudios incluidos utilizaron un modelo de entrenamiento que contenía entrenamiento isoinercial así como intervenciones complementarias, aumentando el riesgo de contaminación de la evidencia. Además, el tamaño total de la muestra y la calidad global de la evidencia es muy baja, lo que impide conclusiones firmes. Otra limitación de este estudio podría ser la posibilidad de notificar el sesgo, ya que los hallazgos no significativos tienen menos probabilidades de ser publicados (Peters, 2007).

### **Implicaciones clínicas de los hallazgos del estudio.**

Esta revisión sistemática presenta una visión completa de la evidencia más actualizada que apoya el uso del entrenamiento isoinercial en LDML, explorando objetivos tradicionales y posibles campos emergentes de aplicación. A pesar de la cantidad y la calidad de la evidencia existente que limita las conclusiones de esta revisión, los terapeutas y los equipos de medicina deportiva deben ser alentados y animados a aplicar el entrenamiento isoinercial, no sólo en la población deportiva, sino también en la población general, ya que este enfoque podría mejorar los procedimientos preventivos y terapéuticos relacionados con muchos parámetros, como el dolor, la función, la altura de salto, la velocidad de carrera y/o la fuerza muscular, que están asociados con una gran variedad de trastornos musculoesqueléticos que afectan a las poblaciones de atletas y no atletas.

**Investigación futura.**

Se necesitan estudios adicionales que analicen los efectos del entrenamiento isoinercial sin intervención complementaria, con mayor tamaño de la muestra, utilizando instrumentos similares para evaluar las medidas de los resultados, con un período de seguimiento de al menos 3 meses. También se necesitan estudios que evalúen los efectos del entrenamiento isoinercial en lesiones relacionadas con extremidades superiores, tales como tendinopatía del manguito rotador, epicondilitis lateral y / o síndrome subacromial. Aun cuando el efecto causado por el entrenamiento isoinercial en la prevención y en la recuperación de LDML parece ser relevante, la investigación adicional que evalúa los efectos adversos potenciales de este método en la población general también es necesaria.

**4.6. CONCLUSIÓN**

Esta revisión sistemática proporcionó información sobre la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y la recuperación de LDML. La evidencia disponible sugiere que el entrenamiento isoinercial utilizando un dispositivo con volantes inerciales es un buen método para producir mejoras en la prevención y rendimiento deportivo (altura de salto más alta, fuerza muscular y velocidad de carrera) y la recuperación (menor intensidad de dolor, mayor función y menor número de días de ausencia por lesión) de las LDML. Sin embargo, la calidad de la evidencia fue muy baja y se necesitan más investigaciones.

## **CAPÍTULO V**

### **PROTOCOLO DE ESTUDIO**

“Efectos del entrenamiento isoinercial en la tendinopatía del manguito de los rotadores: protocolo de estudio controlado aleatorizado con un único ciego.” (Ver publicaciones 2)



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## 5.1 INTRODUCCIÓN

La tendinopatía del manguito rotador (TMR) se reconoce como una causa de sufrimiento y fuente común de dolor de hombro, con una prevalencia estimada de más del 14% de la población en edad de trabajar (Tekavec, 2012; Littlewood, 2013). El TMR es una entidad patológica amplia, que incluye una gran variedad de diagnósticos, como el síndrome del pinzamiento del hombro, tendinitis / tendinosis del manguito de los rotadores, así como bursitis subacromial (Hanchard, 2012). La TMR cursa con las siguientes características; dolor persistente, y / o discapacidad, y / o episodios recurrentes (Chard, 1988). A menudo conduce a la disminución de la función (5), menor calidad de vida relacionada con la salud (McDermid, 2004), mala calidad del sueño (Tekeoglu, 2013), absentismo laboral (Osteras, 2008), así como el sufrimiento del paciente.

El tratamiento conservador de la TMR generalmente incluye reposo, terapia de frío/calor, fármacos antiinflamatorios no esteroideos e intervenciones de rehabilitación tales como masaje de tejidos blandos, terapia manual, ejercicio terapéutico, vendaje neuromuscular, electroterapia, punción seca y / o acupuntura, con el objetivo de reducir la intensidad del dolor y restaurar el rango de movimiento (ROM por sus siglas en inglés) del hombro (Green, 2003; Gerber, 2015; Kaya, 2014; Desjardins-Charbonneau, 2015). Estudios previos apoyan el uso del ejercicio como un tratamiento adecuado en la TMR (Hanratty, 2012), lo que sugiere que los programas de carga progresiva pueden ser un componente clave del tratamiento (Littlewood, 2012). Dentro de las terapias con ejercicio, el ejercicio excéntrico se ha propuesto como una estrategia terapéutica eficaz para mejorar el dolor y la función en las tendinopatías del tendón de Aquiles y rotuliano (Malliaras, 2013), además estos ejercicios para la tendinopatía crónica se consideran a menudo como la primera opción de tratamiento (Andres, 2008; Kingman, 2007). A pesar de que el ejercicio excéntrico parece mejorar la intensidad del dolor, la función (Jonsson, 2006; Bernhardsson, 2011) y la fuerza muscular (Maenhout, 2013) en las personas con TMR, existe menos evidencia sobre su efectividad en esta patología (Camargo, 2014).

Actualmente, el entrenamiento isoinercial, usando un dispositivo de volantes inerciales, ha emergido como un método que utiliza el entrenamiento con sobrecarga excéntrica. El dispositivo isoinercial permite acelerar o desacelerar un volante en lugar de levantar un peso contra la gravedad (Norrnbrand, 2010). Algunas pruebas han mostrado buenos resultados en el uso del entrenamiento con volantes de inercia para aumentar la fuerza, la velocidad y la resistencia en diferentes atletas (Norrnbrand, 2010; Tous, 2006). Incluso, este dispositivo parece ser un buen método para mejorar el dolor y la discapacidad en algunos trastornos músculo-esqueléticos (Gual, 2016; Romero-Rodríguez, 2011). Sin embargo, hasta donde sabemos, no hay estudios que evalúen los efectos del entrenamiento isoinercial en la TMR. Por lo tanto, el objetivo de este estudio será evaluar la efectividad del entrenamiento isoinercial versus el ejercicio tradicional sobre el dolor y la función, en el manejo de los participantes con TMR. El objetivo secundario de este estudio será examinar la fuerza muscular del



hombro, la actividad y resistencia de los músculos escapulares durante la ejecución de los diferentes protocolos de ejercicio.

## 5.2. MÉTODOS

### Aprobaciones y divulgaciones:

Antes de cualquier actividad relacionada con el estudio, la investigación y sus documentos de apoyo (protocolo, hoja de consentimiento informado, información de los investigadores y materiales de recogida de información) serán revisados y aprobados por el Comité de Ética de Costa del Sol (Málaga, España). La información requerida será, entonces, apuntada en ClinicalTrials.gov (NCT02982460). El estudio se llevará a cabo siguiendo los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki.

### Diseño y configuración del estudio:

El diseño del presente estudio será un ensayo controlado aleatorizado de un solo ciego, con 2 tiempos de seguimiento (una semana y un mes después de la intervención), que se realizará entre enero de 2017 y junio de 2017 en una clínica privada de fisioterapia en Málaga, España. Los resultados se evaluarán al inicio (t1), una semana después de la intervención (t2) y un mes después de la intervención (t3). Se requerirá un consentimiento informado por escrito a todos los participantes antes de su inclusión en este estudio. El desarrollo y la implementación del estudio seguirá los puntos recogidos en la declaración de SPIRIT.

### Participantes:

Para el estudio se reclutará una muestra consecutiva de 96 participantes con TMR. El investigador principal (FGA) llevará a cabo la contratación y la evaluación de los participantes para su selección. Si los participantes cumplen los criterios de inclusión, se les invitará a participar en este estudio y, posteriormente, se evaluarán al inicio, una semana y un mes después de la intervención.

En el estudio serán inscritos los pacientes que cumplan con los siguientes criterios de inclusión: (i) atletas que participen en actividades deportivas, con edad entre 18-35 años; (ii) que estén dispuestos y sean capaces de participar en el estudio; (iii) con un dolor de hombro de origen primario; (iv) no/mínimo reposo para el dolor en el hombro; (v) con una amplitud del movimiento del hombro preservada en gran medida; (vi) dos de cada tres test para pinzamiento de hombro positivos : prueba de “empty can”, prueba de Hawkins-Kennedy, prueba de Neer modificada; (vii) dolor en la prueba isométrica del manguito rotador, generalmente abducción o rotación lateral. Los criterios de exclusión serán: (i) sentimiento subjetivo de inestabilidad y signo de aprehensión positiva; (ii) prueba de asistencia y/o resistencia escapular

positiva; (iii) rotura parcial o total del manguito rotador, evaluada mediante ecografía y/o pruebas clínicas; (iv) calcificaciones mayores de 4 mm, evaluadas por ecografía; (v) antecedentes de fractura de hombro y/o cirugía de hombro; (vi) trastornos gleno-humerales (artritis inflamatoria, osteoartritis, osteonecrosis, artropatía del manguito rotador, artritis séptica, capsulitis adhesiva); (vii) trastornos regionales (radiculopatía cervical, neuritis braquial, síndrome de atrapamiento nervioso, artritis esternoclavicular, distrofia simpática refleja y neoplasias); (viii) enfermedades sistémicas; (ix) inyección de corticosteroides en el hombro 3 meses antes del inicio del tratamiento y 1 mes antes del inicio del tratamiento en otras partes del cuerpo.

### **Reclutamiento:**

A los sujetos seleccionados que estén interesados en participar en el estudio se les pedirá que proporcionen un consentimiento informado por escrito (anexo 2). Posteriormente se completarán las medidas de resultado reportadas por el paciente (RRP) para establecer los niveles basales de dolor, función, fuerza muscular del hombro, actividad de los músculos escapulares y resistencia de los músculos escapulares. La evaluación del dolor, la función, la fuerza muscular del hombro, la actividad de los músculos escapulares y la resistencia de los músculos escapulares se repetirán una semana y un mes después de la intervención. Los factores de pronósticos potenciales se medirán a través de cuestionarios auto-informados al inicio del estudio, una semana y un mes después de la intervención. La edad y el sexo serán recogidos de manera anónima para aquellos participantes que se nieguen a participar en el estudio, de cara a evaluar la validez externa de la muestra de los sujetos reclutados. Los archivos de datos de los participantes se almacenarán en orden numérico y en un lugar seguro y accesible.

### **Intervención:**

Los participantes se dividirán en dos grupos: entrenamiento isoinercial (grupo experimental (GE)) y ejercicio (grupo control (GC)). Los participantes serán atendidos tres veces por semana, durante tres semanas. Completarán 3 series de 10 repeticiones, con la progresión en dificultad de los ejercicios propuestos en cada cita. La respuesta sintomática guiará la prescripción del ejercicio, requiriéndose que el dolor que se pudiera producir durante el ejercicio no debe empeorar al terminar el mismo (Littlewood, 2013).

Además, a todos los participantes se les enseñarán ejercicios de estiramiento para el pectoral menor (imagen 4), los rotadores externos del hombro (imagen 5) y la cápsula posterior del hombro (imagen 6) (Ludewig, 2003). A los participantes se les indicará que mantengan cada estiramiento durante 15 segundos y que realicen tres repeticiones, dos veces al día.

Todas las sesiones serán supervisadas por el mismo fisioterapeuta, el cual tendrá más de 15 años de experiencia laboral. A los participantes se les permitirá descansar durante dos minutos entre series. Durante cada ejercicio, el fisioterapeuta dará estímulo verbal y, si es necesario, correcciones de rendimiento.

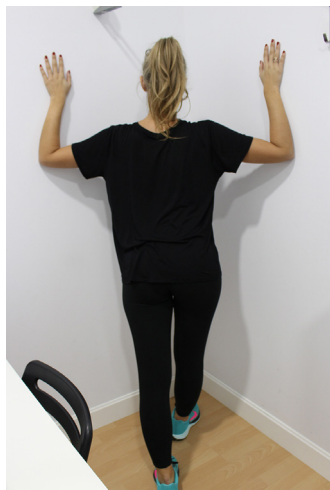


Imagen 4



Imagen 5



Imagen 6

### Grupo experimental:

El entrenamiento isoinercial se basará en 3 series de 10 repeticiones de contracción voluntaria máxima, utilizando un dispositivo inercial denominado VersaPulley<sup>®</sup> (VersaPulley; Heart Rate Inc., Costa Mesa, CA). Este dispositivo de ejercicio utiliza la inercia de una polea cónica excéntrica giratoria (inercia de momento = 0,11 kg m<sup>2</sup>), ofreciendo resistencia durante las acciones concéntricas y excéntricas acopladas, lo que permite una alta demanda de los músculos del hombro, ofreciendo la posibilidad de realizarlos con una sobrecarga excéntrica (Berg, 1994 y 1998; Norrbrand, 2008). Se realizarán dos repeticiones iniciales del dispositivo, que tendrán como objetivo acelerar el volante, antes de ejecutar las 8 acciones subsiguientes con esfuerzo máximo. Una vez se ejecute la fase concéntrica, el cono se rebobinará por la fuerza de la inercia para iniciar una acción excéntrica invertida. Los participantes serán instruidos para resistir suavemente durante los dos primeros tercios de la acción excéntrica y luego aplicarán una fuerza máxima para detener el volante, logrando así una sobrecarga excéntrica en el último tercio de cada acción excéntrica. La recuperación entre series será de 2 minutos. El investigador principal (FGA) garantizará el cumplimiento y el rendimiento óptimo del programa de formación. Habrá un período de descanso entre sesiones de entrenamiento isoinercial de 48 horas. Los ejercicios de fortalecimiento serán los siguientes: A) flexión del hombro (imagen 7); B) extensión del hombro (imagen 8); C) abducción horizontal con rotación externa (imagen 9); D) rotación externa del hombro a 45° de abducción en posición lateral (imagen 10); E) ejercicio de empuje hacia arriba (sin utilizar el sistema del volante) (imagen 11).

Todos los ejercicios, con excepción del ejercicio realizado de manera lateral, serán realizados bilateralmente. Los ejercicios “a”, “b” y “c” se realizarán en decúbito supino para minimizar la activación del músculo trapecio superior, que se sabe que está alterado en personas con cinemática escapular anormal y dolor en el hombro (Cools, 2007; McClure, 2004). Estos ejercicios han demostrado ser efectivos en numerosos estudios de investigación (Camargo, 2015).



Imagen 10



Imagen 7



Imagen 8



Imagen 9



Imagen 11



**Grupo control:**

El grupo control completará cinco ejercicios de fortalecimiento cada día durante diez sesiones (una vez al día) para el hombro afectado. Los ejercicios de fortalecimiento se llevarán a cabo usando bandas de resistencia elásticas codificadas por colores (TheraBand, The Hygenic Corporation, Akron, OH) a tres niveles progresivos de resistencia, según lo indicado por el color de la banda (rojo, verde o azul). Se realizarán 3 series de 10 repeticiones para cada ejercicio. Si los ejercicios no provocan dolor muscular al día siguiente, se seleccionará una banda elástica de mayor resistencia. El conjunto de ejercicios será el mismo que se utiliza en el grupo de intervención (imagen 11,12-15).



Imagen 12



Imagen 13



Imagen 14



Imagen 15



Imagen 11

## Medidas de los resultados:

### Resultados primarios:

1. Dolor y función: el Índice de Dolor e Incapacidad del Hombro (SPADI, por sus siglas en inglés) (Roach, 1991) es un cuestionario auto-administrado, que consta de dos partes: una para el dolor y otra para las actividades funcionales. La puntuación total de SPADI oscila entre 0 a 100, con 0 = mejor y 100 = peor. El SPADI ha demostrado una buena consistencia interna con un alfa de Cronbach de 0,95 para la puntuación total, 0,92 para la sub-escala de dolor y 0,93 para la sub-escala de discapacidad, así como la capacidad de detectar cambios en el tiempo (McDermid, 2006). Se utilizará la versión de SPADI validada al castellano (Luque-Suarez, 2016).

### Resultados secundarios:

1. Test de fuerza de los músculos del hombro: para ello se utilizará el dinamómetro de mano (HHD por sus siglas en inglés) para medir la fuerza de los siguientes músculos del hombro: músculos rotadores laterales (imagen 16) (Jain, 2013), serrato anterior (imagen 17), trapecio superior (imagen 18) e inferior (imagen 19) (Day, 2015). Las mediciones se expresarán en Newtons (N). El HHD ha demostrado una buena viabilidad y validez para medir la fuerza en los músculos del hombro (Cools, 2016).



Imagen 16



Imagen 17



Imagen 18



Imagen 19

2. Actividad de la musculatura escapular: se usará la electromiografía de superficie (EMG, NEUROTRAC, Myoplus 2, Verity Medical Ltd., Reino Unido) para medir la actividad muscular.

### Colocación del electrodo:

Trapezio superior: el electrodo se colocará entre la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical y la punta posterior del acromion, a lo largo de la línea del músculo trapecio (imagen 20) (Joshi, 2011).

Trapezio inferior: para la parte inferior del músculo trapecio, los electrodos se colocarán oblicuamente hacia arriba y lateralmente a lo largo de una línea entre la intersección de la columna vertebral de la escápula con el borde vertebral de la escápula y la apófisis de la séptima vértebra torácica (imagen 20) (Joshi, 2011).

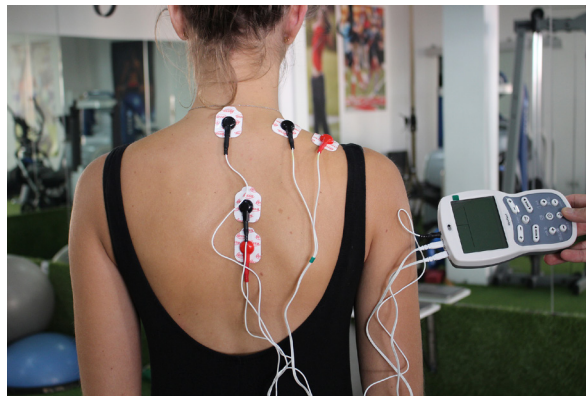


Imagen 20

Después de la colocación de los electrodos en el trapecio inferior y superior, al participante se le pedirá elevar el hombro afectado en un movimiento de elevación, en todo el rango de movimiento (imagen 21). Se registrará la actividad electromiográfica de ambos músculos. Los valores medios para ambos músculos se calcularán después de 5 ensayos. Cuando se tomen las medidas finales, se calculará una relación entre trapecio superior/trapecio inferior.



Imagen 21



3. Resistencia de los músculos escapulares: la resistencia de los músculos trapecio y serrato anterior se evaluará mediante la prueba de resistencia de la musculatura escapular (SME por sus siglas en ingles) (imagen 22). Para esta prueba, los participantes estarán de pie contra la pared con sus hombros y codos flexionados a 90°. No habrá contacto entre los brazos del participante y la pared. Los participantes tendrán entonces un dinamómetro digital entre sus manos y un espaciador ajustable entre sus codos para mantener la posición de la prueba. Las escápulas estarán posicionadas en forma neutra. A continuación se pide al sujeto que gire externamente los hombros para alcanzar una carga de 1 kg y que mantenga esta fuerza que se mostrará en el dinamómetro. El punto final de la prueba será cuando el sujeto sea incapaz de mantener la resistencia y dejará caer el espaciador ajustable, no manteniendo 90° de flexión del hombro, o informando de un aumento no aceptable que cause incomodidad (Edmondston, 2008; Eraslan, 2013).



Imagen 22

#### **Variables predictivas:**

1. Auto-eficacia: el cuestionario de auto-eficacia en el dolor (PSEQ por sus siglas en ingles) contiene 10 preguntas que medirán la confianza del paciente en el desempeño de ciertas actividades a pesar del dolor. Los ítems serán puntuados en una escala de 0 a 6, con una puntuación máxima posible de 60 puntos. Las puntuaciones más bajas indican una menor autoeficacia (Nicholas, 2007).
2. Género y edad: el cuestionario auto-administrado recopilará información de género y edad.
3. El nivel educativo se codificará en cinco niveles educativos: grupo 1: universidad/colegio  $\geq 4$  años; Grupo 2: universidad/colegio 4 años; Grupo 3: secundaria superior; Grupo 4: secundaria incompleta; Grupo 5: secundaria elemental. (Sterud, 2016)
4. El tratamiento actual se evaluará mediante una lista de control dividida en 5 grupos: sin tratamiento, tratamiento farmacológico, inyecciones, fisioterapia y otros tratamientos (masaje, reflexología, acupuntura).



5. Se recogerán mediante un cuestionario auto-administrado el puesto de trabajo actual/más reciente, así como la naturaleza del trabajo y el estado laboral (desempleo/ activo/baja por enfermedad /jubilación).

El resumen de las medidas de resultado se presentará en la tabla 7.

Medida de los resultados	Instrumento/ Test	Miembro del equipo	Al comienzo (T1)	1 Semana (T2)	1 Mes (T3)
Dolor y Función	SPADI	Entrevistador	X	X	X
Fuerza Muscular del Hombro	HHD	Entrevistador	X	X	X
Actividad de los Músculos Escapulares	EMG	Entrevistador	X	X	X
Resistencia de los Músculos Escapulares	SME	Entrevistador	X	X	X
<b>Variables predictivas</b>					
¿Qué modalidad de tratamiento? (Farmacología / Terapia Manual / Inyecciones / Sin tratamiento / Otros tratamientos)	Auto-cuestionario	Entrevistador	X	X	X
Auto-eficacia	PSEQ	Entrevistador	X	X	X
Puesto de trabajo actual / y tipo de trabajo	Auto-cuestionario	Entrevistador	X	X	X
Edad, sexo	Auto-cuestionario	Entrevistador	X		

Tabla 7. Visión general de los instrumentos de medición y tiempo de evaluación

### Aleatorización y Cegamiento:

Un estadístico independiente realizará la asignación al azar de antemano utilizando una tabla de aleatorización generada por ordenador. Se ocultará igualmente el número de los dos grupos de tratamiento en sobres opacos. Después de la inclusión y la evaluación inicial llevada a cabo por el investigador principal (FGA), un investigador independiente cegado al tratamiento elegirá un sobre para asignar aleatoriamente a los participantes a uno de los dos grupos de tratamiento. Dado que los pacientes no pueden ser cegados para el tratamiento, se les pedirá expresamente que no indiquen al evaluador en qué grupo serán tratados. Los pacientes serán examinados por un fisioterapeuta (asesor) que recibirá un entrenamiento de 5 horas en la evaluación de todas las medidas de resultado. Este evaluador quedará cegado por el propósito del estudio y por los tratamientos asignados. Un estadístico cegado realizará el análisis de los datos.

**Cálculo del tamaño de la muestral:**

Para calcular el tamaño del efecto, se utilizarán las puntuaciones de SPADI para los cambios antes y después de las intervenciones. El software G \* power 3 se utilizará para este cálculo.

Se asumirá que las diferencias entre los valores basales y post intervención de SPADI en la mejor opción de tratamiento sería de 15 puntos y, teniendo en cuenta que la desviación estándar probablemente será alrededor de 11 (Maenhout, 2013), los cálculos del tamaño de la muestra indicarán que la potencia de detectar estas diferencias mínimas en una muestra de 96 sujetos (asignados proporcionalmente entre los dos grupos) serían del 80% para un alfa del 5% y una tasa de deserción del 5%.

**Análisis Estadístico:**

El Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales se utilizará para el análisis de datos (versión 23.0 para Mac, SPSS Inc. Chicago, IL). La normalidad de las variables será evaluada visualmente para una distribución Gaussiana y adicionalmente probada con una prueba de buena calidad de ajuste Kolmogorov-Smirnov de 1 muestra. Para calcular los intra-grupos, las diferencias de medias para todos los resultados, al inicio, después del tratamiento y un mes después, se llevará a cabo un ANOVA de Medidas Repetidas (Tiempo x Grupo) de tres vías, con las puntuaciones de cada variable como un factor dependiente, Con 3 niveles correspondientes a cada período de medición (t1, t2 y t3), y el grupo como un factor independiente con 2 niveles (grupo de intervención y grupo de control). Un valor de  $p > 0,05$  se considerará estadísticamente significativo. Si se viola la normalidad de cualquier variable de resultado, se calculará una prueba Brown-Forsythe. La prueba de Levene se utilizará para comprobar la homogeneidad de las varianzas. Si los datos cumplen con la hipótesis de homogeneidad de las varianzas, se calculará la prueba post-hoc de Bonferroni. Si se viola la homogeneidad de las varianzas, se determinará una prueba post-hoc de Games-Howell.

**Recopilación y gestión de datos:**

Para asegurar datos exactos, completos y validables, toda la información relacionada con el estudio se almacenará de forma segura en el emplazamiento del estudio. Toda la información de los participantes se almacenará en armarios de archivos bloqueados en áreas con acceso limitado. Un número de identificación codificado identificará los informes, la recopilación de datos, el proceso y los formularios administrativos únicamente para mantener la confidencialidad del participante.

**Modificación del Protocolo:**

Cualquier modificación del protocolo que pueda afectar la realización del estudio, el beneficio potencial del paciente o la seguridad del paciente, incluidos los cambios en los objetivos del estudio, el diseño del estudio, la población de pacientes, el

tamaño de las muestras, los procedimientos de estudio o aspectos administrativos significativos requerirán un enmienda formal al protocolo.

Dicha enmienda será acordada a este grupo de investigación y aprobada por el Comité Ético de la Universidad de Málaga, Málaga, España, antes de su implementación y notificada a las autoridades sanitarias de acuerdo con la normativa local.

**Consentimiento informado:**

Todos los autores declaran no tener conflicto de intereses.

**Diseminación:**

Los resultados del estudio serán difundidos en varias conferencias de investigación, así como publicados en artículos de revisión por pares.

### 5.3 DISCUSIÓN

El presente estudio será el primer ensayo controlado aleatorizado que evalúe los efectos del entrenamiento isoinercial en la TMR. Dentro de una gran variedad de tratamientos conservadores que tienen como objetivo disminuir la intensidad del dolor y la discapacidad en las molestias del hombro, la terapia con ejercicios parece ser una buena estrategia terapéutica para lograr estos objetivos. Por lo tanto, obtener más conocimientos sobre si el entrenamiento isoinercial produce buenos resultados en esta población podría ser de gran valor para establecer nuevas estrategias de tratamiento que podrían evitar la cronicidad de las lesiones de hombro.

#### Estado actual del estudio

El reclutamiento de pacientes se iniciará en enero de 2017.

#### Contribución del autor:

ALS concibió el estudio. ALS y FGA iniciaron el diseño del estudio y JMC ayudó con la versión final de este estudio. ALS proporcionó experiencia estadística en el diseño de ensayos controlados aleatorizados. Todos los autores contribuyeron al perfeccionamiento del estudio piloto y aprobaron el manuscrito final.

#### Declaración de financiación:

Este estudio es apoyado por la Universidad de Málaga, España. La fuente de financiación no tiene ningún papel en el diseño del estudio, en la recopilación de datos, análisis e interpretación, en la redacción del informe o en la decisión de presentar el documento para su publicación.

#### Declaración de competencia de intereses:

Ningún autor tiene conflicto de intereses que declarar.

#### Aprobación ética:

El Comité de Ética de la Universidad de Málaga, España, aprobará este protocolo.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **CAPÍTULO VI**

### DISCUSIÓN



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

El objetivo principal de esta tesis era analizar y comprobar la efectividad del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones músculo tendinosas. Para ello se puso en marcha un proyecto de investigación, que ha dado como resultado una revisión sistemática, la cual se encuentra bajo revisión en revista internacional. A partir de los resultados obtenidos en la misma, y ante la ausencia de trabajos de investigación sobre la aplicación del entrenamiento isoinercial en miembros superiores, se ha propuesto y diseñado un protocolo de estudio para investigar dicha incidencia en la tendinopatía del manguito de los rotadores del hombro. Por lo tanto, podemos concluir que se han alcanzado con éxito los objetivos propuestos en este trabajo.

A continuación se detallan, de manera pormenorizada, todos los datos obtenidos en este trabajo para su análisis y discusión tanto del objetivo principal como de los objetivos secundarios planteados.

El uso del estímulo excéntrico como herramienta para la prevención y recuperación de lesiones musculares y tendinosas, así como para la mejora del rendimiento, ha sido demostrada ampliamente en numerosos estudios de investigación (Camargo, 2014; Frizziero, 2014), formando parte del abanico de posibilidades que nos brinda el ejercicio terapéutico, el cual es una de las herramientas más utilizadas por su efectividad y su bajo coste (Kountouris, 2007; Littlewood, 2015).

Se ha comentado los beneficios del entrenamiento excéntrico a nivel muscular, ya que con este tipo de estímulos, permite desarrollar una mayor tensión mecánica, además posibilita un mayor volumen de entrenamiento por su menor coste energético, a su vez conduce a un mayor daño muscular y a una mayor tensión sobre las estructuras pasivas, que pueden desencadenar un mayor crecimiento en las fibras musculares, sobre todo de tipo II (Schoenfeld, 2010; Hortobagyi, 1996, 2000; Peñailillo, 2013).

Por otro lado, los efectos sobre el tendón están ampliamente estudiados. La características patológicas de las tendinopatías se caracterizan por dolor localizado dentro del tendón con disfunción de la extremidad sobre la que actúa y lleva asociado un estado celular alterado que provoca una degradación de la matriz extracelular (acumulación de sustancia fundamental, colágeno desorganizado y crecimiento interno de vasos sanguíneos) (Jozsa, 1982; Khan, 1996). En este tipo de desordenes influyen tanto factores extrínsecos (carga excesiva, calzado inadecuado...) como factores intrínsecos (altos niveles de lípidos en sangre, factores genéticos...), que pueden predisponer a sufrir este tipo de patologías (de Vries, 2014; Kraemer, 2012).

En los últimos años, el uso del ejercicio excéntrico como modalidad terapéutica se ha visto incrementado dentro de la literatura científica, dando lugar a rigurosas revisiones sistemáticas. Estas han arrojado resultados prometedores en el campo de la fisioterapia y de la readaptación deportiva (Silbernagel, 2001; Bahr, 2007; Malliaras



2013) por su influencia sobre la regulación molecular, la adaptación estructural y las propiedades biomecánicas del tendón, tan necesario para la ejecución de un movimiento natural, así como para la consecución del rendimiento deportivo y el tratamiento de lesiones (Magnusson, 2010). A nivel tendinoso la influencia del ejercicio excéntrico ha sido estudiado en numerosas investigaciones, desde la respuesta aguda que sugiere que su diámetro se reduce de forma más acentuada tras someterle a este tipo de acciones, que tras someterle a estímulos excéntricos (Obst, 2013), hasta los estudios a largo plazo que demostraron la capacidad de las contracciones excéntricas de aumentar la rigidez y el área de sección transversal como respuestas a cargas externas (Coupe, 2008; Malliaras, 2013).

En su aplicación en el tratamiento de las tendinopatías el ejercicio excéntrico ha sido confirmado como uno de los métodos preferidos por su influencia positiva en la mejora de la sintomatología, el grosor del tendón y la anomalías estructurales y vasculares (Alfredson, 1998; Ohberg, 2004; Meyer, 2009). A pesar de la fuerte evidencia al respecto del uso de los ejercicios excéntricos en el tratamiento de las tendinopatías, todavía no se conoce el mecanismo mediante el cual este sistema favorece la sintomatología clínica, por lo que aún hoy continua la búsqueda de todos los parámetros que pueden influir en la prevención y recuperación de las mismas como la velocidad de ejecución, la intensidad y el volumen de la carga.

En la búsqueda de nuevas herramientas que nos permitan optimizar los resultados en la prevención y recuperación de patologías miotendinosas, los dispositivos isoinerciales aparecen como una de las alternativas más novedosas y efectivas por su capacidad de generar estímulos de sobrecarga excéntrica tan interesantes y relevantes para conseguir los objetivos terapéuticos y de rendimiento propuestos.

Existe numerosa evidencia científica que apoya el uso de este tipo de dispositivos en la mejora del rendimiento y de las cualidades físicas como la fuerza, la velocidad de carrera y la capacidad de salto. Podemos destacar con respecto a este tema, el estudio de Tous (Tous, 2006) sobre el entrenamiento isoinercial, el cual, favorece el desarrollo de la fuerza y la velocidad, así como los estímulos de sobrecarga excéntrica. Para obtener estos resultados puede existir una influencia de la carga con la que se realiza el esfuerzo, así como la experiencia del sujeto que lo realiza. Por otro lado, debemos también destacar los estudios del grupo de Norrmbbrand en donde se analiza la activación muscular del cuádriceps medido con electromiografía de superficie (EMG) en diferentes ejercicios y comparándolo con entrenamiento convencional, llegando a la conclusión que existe un aumento de la activación del músculo evaluado e induciendo adaptaciones iguales o mayores que el entrenamiento estándar (Norrmbbrand 2008, 2010 y 2011). Resultados similares obtuvo el estudio realizado por el grupo de Seynnes (Seynnes, 2007) donde obtuvieron mejoras en la activación del músculo cuádriceps medido con EMG además de evidenciarse aumentos del área de la sección transversal del músculo y de su longitud.

A pesar de las evidencias comentadas en el campo del rendimiento y en la mejora de las cualidades físicas, no es así en el ámbito de la prevención y recuperación de lesiones músculo-tendinosas, hecho que da origen a este trabajo de investigación. Los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que el uso del entrenamiento isoinercial mediante el uso de dispositivos con volantes inerciales produce mejoras en la prevención y recuperación de lesiones músculo-tendinosas.

### **El entrenamiento isoinercial y la variable dolor-función**

En cuanto al entrenamiento isoinercial y la variable dolor-función, en base a los resultados obtenidos en la revisión sistemática, parece que el entrenamiento con tecnología isoinercial es una buena herramienta para mejorar el dolor y la función (Abat 2014; Gual 2015). La interpretación de estos resultados lo podemos relacionar con otras variables, que por su condición, pueden asociarse con la funcionalidad de los sujetos seleccionados. La mejora demostrada en varios estudios sobre fuerza muscular dinámica y rendimiento deportivo pueden hacernos pensar que de manera indirecta se mejore la funcionalidad. Un buen ejemplo sería los trabajos del grupo de Onambele (Onambele 2008) que estudiaron la incidencia del entrenamiento isoinercial en la fuerza del cuádriceps y de los flexores plantares, llegando a la conclusión de que, aunque la mejora de la fuerza era mayor en el grupo control, el experimental mejoraba la potencia dinámica del cuádriceps y el equilibrio.

En cuanto a las variables relacionadas específicamente con el dolor, encontramos un estudio (Abat, 2014) que, a pesar de que la evidencia de la calidad es muy baja, nos aporta pistas muy interesantes para seguir indagando en la utilización de este tipo de dispositivos en la prevención y tratamiento de lesiones. Es cierto que en el estudio mencionado se utiliza el entrenamiento isoinercial como complemento al uso de la electrolisis percutánea intratisular (EPI) pero los buenos resultados obtenidos en el mismo nos deben animar para continuar realizando nuevas investigaciones sobre la influencia de cada una de estas variables. Con respecto a este tema ya existe otro estudio (Romero Rodríguez, 2011) donde se analiza la incidencia del entrenamiento isoinercial en el tratamiento de la tendinopatía rotuliana, que aunque carezca de grupo control comparativo, ha demostrado mejoras clínicas por el aumento de la fuerza y de la activación neuromuscular, así como la disminución del dolor, medido a través de la escala visual analógica (EVA) y el aumento de la capacidad funcional, medido a través de la VISA-p a corto plazo.

Estos datos pueden unirse a los que relacionan la aplicación de la tecnología con volantes inerciales con la aparición del daño muscular tardío (DOMS por sus siglas en inglés), como en el estudio de Raeder (Raeder, 2016), donde se compara el daño muscular provocado en 5 diferentes ejercicios, entre los que se incluye un ejercicio con dispositivo isoinercial, llegando a la conclusión de que no hay diferencias entre ejercicios. Este hecho, sumado al resultado obtenido en el estudio de Fernandez Gonzalo (Fernandez Gonzalo, 2011), donde se demuestra que este tipo de daño no influye en el rendimiento muscular, podemos pensar que con la utilización de este

tipo de entrenamiento se podrían alcanzar resultados satisfactorios en la mejora del dolor sin una influencia negativa del dolor provocado tras el ejercicio excéntrico.

### **El entrenamiento isoinercial y mejora de las cualidades físicas.**

Con respecto a las cualidades físicas de fuerza muscular y velocidad de carrera, así como su incidencia en el rendimiento funcional, podemos destacar los estudios de De Hoyo (De Hoyo, 2014) y Gual (Gual, 2016) sobre la influencia del entrenamiento isoinercial en la prevención y tratamiento de lesiones, al demostrar una mejora significativa en la altura de salto contra-movimiento, así como mejoras en la velocidad de la carrera medidos con test de sprints de 10m. y 20m. Estos datos confirman las conclusiones obtenidas en diferentes estudios relacionados con la mejora del desarrollo de la fuerza muscular (Tous, 2006) y la activación de la musculatura específica relacionado con la potencia de salto (Fernandez-Gonzalo, 2011), apoyando la utilización de la tecnología isoinercial en objetivos terapéuticos. Además de estos resultados, también encontramos un estudio del grupo de Askling (Askling, 2003) que hallaron mejoras significativas en los valores excéntricos tras una intervención con tecnología isoinercial, lo que reforzaría la idea comentada anteriormente en cuanto a mejoras de la fuerza muscular y cualidades físicas relacionadas con la mejora del rendimiento.

### **El entrenamiento isoinercial y la prevención de lesiones.**

El estudio de Askling comentado en el apartado anterior nos da pie para comentar uno de los aspectos más interesantes sobre la utilización del entrenamiento isoinercial como herramienta de prevención de lesiones músculo-tendinosas. En función de los resultados obtenidos en el estudio donde se demuestra una reducción del número de lesiones durante una temporada deportiva en jugadores de fútbol, es un buen punto de partida a partir del cual profundizar en la utilización de este tipo de dispositivos en el conjunto de pruebas destinadas a la prevención y recuperación de desordenes músculo-esqueléticos. Para reforzar la relevancia del uso de tecnología isoinercial en el ámbito preventivo también debemos destacar el estudio de De Hoyo (De Hoyo, 2014) donde se evidencia una menor incidencia en la gravedad de las lesiones sufridas durante una temporada. Estos dos estudios son una muestra muy clara del potencial del entrenamiento mediante el uso de la inercia en el ámbito preventivo y ha dado pie a la implantación de esta tecnología en multitud de clubes deportivos de elite y centros especializados, y que suman su experiencia clínica a la cada vez más completa investigación experimental en este campo.

### **El entrenamiento isoinercial en miembros superiores.**

Con respecto al uso de las acciones mediante dispositivos isoinerciales en miembro superior, por lo que sabemos, no existen estudios que hayan analizado su influencia en patologías mio-tendinosas en esta localización. Por lo que se antoja un ámbito muy novedoso e interesante, dado los prometedores efectos de esta tecnología en miembros inferiores. Este hecho ha dado lugar a la segunda parte de este trabajo con

la propuesta y diseño de un estudio donde se plantea la efectividad del entrenamiento isoinercial en patologías tendinosa del manguito de los rotadores. El uso del ejercicio excéntrico en tendinopatías del manguito rotador ya ha sido demostrada a través del trabajo del grupo de Jonsson (Jonsson, 2006), donde demostraron los beneficios de este tipo de estímulos en el tratamiento del impingement subacromial, además, al comprarlos con el ejercicio concéntrico, este parece que sus resultados son más eficaces (Holmgren y Bjorson, 2012; Holmgren y Hallgren, 2013). Por todo ello, parece probable que como se está demostrando en los miembros inferiores, el uso de la tecnología isoinercial puede ser una herramienta efectiva para la prevención y tratamiento de las lesiones de miembro superior.

No cabe duda de que el entrenamiento isoinercial en su aplicación en el ámbito de la salud se encuentra en fases iniciales, que los resultados obtenidos hasta ahora, aunque prometedores, son insuficientes como para validar de manera categórica su uso terapéutico, por la baja calidad de los estudios y la poca población de estos, pero aún así, las conclusiones de los mismos nos animan a seguir investigando sobre este tipo de estímulos. Al necesario empuje investigador hay que sumar un hecho que ya lleva años produciéndose, que no es otro que el crecimiento de la experiencia clínica que acumulan los años de utilización de estos dispositivos por parte de los profesionales de la actividad física y la salud. Todo estos datos avalan el uso y aconsejan la introducción, así como la puesta en marcha de nuevos retos de investigación, del entrenamiento isoinercial dentro de las técnicas de aplicación preventiva y terapéutica en las diferentes lesiones músculo-esqueléticas.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **CAPÍTULO VII**

### **LIMITACIONES Y PROSPECTIVA**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

En este estudio se plantean varias limitaciones, aunque la principal a nuestro entender, es la falta de resultados experimentales globales del mismo, aunque este será uno de los objetivos posteriores a dicha tesis, ya que en este trabajo, nuestro principal objetivo era comprobar el efecto del entrenamiento isoinercial en la prevención y recuperación de lesiones mio-tendinosas así como la de diseñar y planificar un protocolo de estudio para analizar la efectividad del entrenamiento isoinercial en lesiones tendinosas del manguito de los rotadores de hombro.

Otra de las limitaciones de este trabajo son las que se refieren a los elementos intrínsecos de la revisión sistemática realizada, debido a la heterogeneidad de los estudios analizados y los resultados obtenidos en los mismos. Este hecho hace que, aunque los resultados son prometedores, no existe evidencia alta de efectividad de esta metodología de tratamiento excéntrico.

Estos déficits señalados son comunes a las técnicas novedosas, donde el sustento científico de las mismas es relativamente bajo, aún así, los resultados encontrados nos hacen ser optimistas sobre los efectos del entrenamiento isoinercial en las lesiones músculo-tendinosas, y es por ello que se debe profundizar en las diferentes posibilidades que nos brinda este tipo de tecnología, mejorando las variables a analizar, así como los tipos de técnicas aplicadas en los diferentes grupos de estudio.

Además se hace necesario incorporar estudios donde se realicen comparativas entre el entrenamiento isoinercial y el entrenamiento estándar sin terapias complementarias que pueden aumentar el riesgo de contaminación de la evidencia. Por otro lado, y ante los hallazgos de las conclusiones de la revisión sistemática, no se han encontrado estudios sobre la aplicación de esta tecnología en patologías de miembro superior.

Por todo ello, es por lo que se ha planteado el protocolo de estudio sobre la efectividad del entrenamiento isoinercial en las lesiones tendinosas de miembro superior, no solo por su novedosa implicación del este tipo de entrenamiento en esta localización anatómica, si no también, en la comparativa entre el entrenamiento isoinercial y los métodos de entrenamiento convencionales.

Por último se recomienda la realización de investigaciones sobre la aplicación de tecnología isoinercial, tal y como se han planteado en estudios existentes, pero mejorando los tiempos de seguimiento y con un tamaño muestral más grande.





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSIONES**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

A la vista de los resultados obtenidos en este trabajo y en función de los objetivos planteados podemos concluir que:

1. La efectividad del entrenamiento isoinercial valorada a través del análisis del estado actual de la evidencia mediante la realización de una revisión sistemática profunda y exhaustiva, ha resultado ser un buen método para la prevención y recuperación de lesiones músculo-tendinosas.
2. El entrenamiento con dispositivos isoinerciales es una herramienta válida por la mejora sobre cualidades físicas y de rendimiento, como la altura de salto más alta, mejora de la fuerza muscular y velocidad de carrera.
3. La metodología isoinercial presenta cierto nivel de evidencia en el manejo del dolor en las lesiones músculo-tendinosas de miembro inferior.
4. Existe cierto nivel de evidencia en cuanto a la mejora de la función en lesiones músculo-esqueléticas de miembro inferior usando la metodología isoinercial.
5. Existe una ausencia de estudios con respecto a la prevención y tratamiento de lesiones de miembro superior, situación que nos ha llevado a proponer y definir un protocolo de estudio para comprobar la efectividad del entrenamiento isoinercial en las tendinopatías del manguito de los rotadores del hombro, el cual se encuentra en fase experimental.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **CAPÍTULO IX**

### **BIBLIOGRAFÍA**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson SP, Halkjær-Kristensen J, Dyhre-Poulsen P. Neural inhibition during maximal eccentric and concentric quadriceps contraction: effects of resistance training. *J Appl Physiol.* 2000; 89 (6): 2249 - 2257.

Abat F, Gelber P, Monllau J. Effectiveness of the Intratissue Percutaneous Electrolysis (EPI ®) technique and isoinertial eccentric exercise in the treatment of patellar tendinopathy at two years follow-up. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2014;4(2):188–93.

Abbott BC, Bigland B, y Ritchie JM. The physiological cost of negative work. *J Physiol.* 1952; 117(3), 380-390.

Alfredson H, Pietila T, Jonsson P, y Lorentzon R. Heavy-load eccentric calf muscle training for the treatment of chronic Achilles tendinosis. *Am J Sports Med.* 1998; 26(3), 360-366.

Alfredson H. The chronic painful Achilles and Patellar tendon: research on basic biology and treatment. *Scand J Med Sci Sports.* 2005; 15:252-9.

Alfredson H, Ohberg L. Neovascularisation in chronic painful patellar tendinosis-promising results after sclerosing neovessels outside the tendon challenge the need for surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005; 13: 74-80.

Alfredson H, Cook J. A treatment algorithm for managing Achilles tendinopathy: new treatment options. *Br J Sports Med.* 2007; 41: 211-6.

Alfredson H, Ohberg L, Zeisig E, Lorentzon R. Treatment of midportion Achilles tendinosis: similar clinical results with US and CD-guided surgery outside the tendon and sclerosing polidocanol injections. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007; 15(12): 1504–9.

Alkner BA, Berg HE, Kozlovskaya I, Sayenko D, Tesch PA. Effects of strength training, using a gravity-independent exercise system, performed during 110 days of simulated space station confinement. *Eur J Appl Physiol.* 2003; 90 (1): 44 - 49.

Andersson G, Danielson P, Alfredson H, y Forsgren S. Presence of substance P and the neurokinin-1 receptor in tenocytes of the human Achilles tendon. *Regul Pept.* 2008; 150(1-3), 81-87.

Andres BM, MG. Treatment of tendinopathy: what works, what does not, and what is on the horizon. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466:1539–54.



Askling C, Karlsson J, Thorstensson A. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sport* [Internet]. 2003; 13(4):244–50.

Atkins D, Best D, Briss PA, Eccles M, Falck-Ytter Y, Flottorp S, Guyatt GH, Harbour RT, Haugh MC, Henry D, Hill S, Jaeschke R, Leng G, Liberati A, Magrini N, Mason J, Middleton P, Mrukowicz J, O'Connell D, Oxman AD, Phillips B, Schünemann HJ, Edejer T, Va ZS, Gradew G. GRADE Working Group. Grading quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2004; 328:1490.

Bahr R, Maehlum M. Lesiones deportivas. Diagnóstico tratamiento y rehabilitación. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2007.

Balius R. Patología Muscular en el Deporte. Diagnóstico, tratamiento y recuperación funcional. Ed. Editorial Masson, Barcelona, 2005.

Ben-Sirah D, Ayalon A, y Tavi M. The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *J Strength Cond Res*. 1995; 9(3), 143-148.

Berg HE, Tesch PA. A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviat Space Environ Med*. 1994; 65 (8): 752 - 756.

Berg HE, Tesch PA. Force and power characteristics of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronaut*. 1998 4; 42 (1-8): 219 - 230.

Bernhardsson S, Klintberg IH. Evaluation of an exercise concept focusing on eccentric strength training of the rotator cuff for patients with subacromial impingement syndrome. *Clin Rehabil*. 2011;25:69–78.

Binzoni T, Bianchi S, Hanquinet S, Kaelin A, Sayegh, Y, Dumant, M y Jéquier S. Human Gastrocnemius medialis pennation angle as a function of age: from newborn to the elderly. *Journal of physiological anthropology and applied Human Science*. 2001; 20(5), 293-298.

Bigland-Ritchie B, y Woods JJ. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol*. 1976; 260(2), 267- 277.

Bojsen-Moller J, Kalliokoski KK., Seppanen M, Kjaer M, y Magnusson SP. Low-intensity tensile loading increases intratendinous glucose uptake in the Achilles tendon. *J Appl Physiol*. 2006; 101(1), 196-201.

Brughelli ME, Cronin JB. Preventing hamstring injuries in sport. *Strength Cond J* [Internet]. 2008; 30(1):55.

Buceta JM. *Psicología y lesiones deportivas: Prevención y recuperación*. Madrid: Dykinson;1996.

Butler DL, Grood ES, Noyes FR, Zernucke RF. Biomechanics of ligaments and tendons. *Exerc Sports Sci Rev*. 1978; 6: 125-182.

Camargo PR, Albuquerque-Sendín F. Eccentric training as a new approach for rotator cuff tendinopathy: Review and perspectives. *World J Orthop*. 2014; 5(5):634–44.

Camargo PR, Albuquerque-Sendín F, Avila MA, Haik MN, Vieira A, Salvini TF. Effects of Stretching and Strengthening Exercises With and Without Manual Therapy on Scapular Kinematics, Function, and Pain in Individuals With Shoulder Impingement: A Randomized Controlled Trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 2015;58(12):1–34.

Caruso JF, Hernandez DA, Saito K, Cho M, Nelson NM. Inclusion of eccentric actions on net caloric cost resulting from isoinertial resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2003; 17 (3): 549-555.

Caruso JF, Coday MA, Monda JK, Ramey ES, Hastings LP, Vingren JL, Potter WT, Kraemer WJ, Wickel EE. Blood lactate and hormonal responses to prototype flywheel ergometer workout. *J Strength Cond Res*. 2010; 24 (3): 749 - 756.

Carr AJ, y Norris SH. The blood supply of the calcaneal tendon. *J Bone Joint Surg Br*. 1989; 71(1), 100-101.

Chalmers DJ. Injury prevention in sport: Not yet part of the game? *Inj Prev*. 2002 Dec; 8Suppl 4: IV225.

Chow RS, Medri MK, Martin OC, LeeKam RN, Agur AM y McKee NH. Sonographic studies of human soleus and Gastrocnemius muscle architecture: gener variability. *European Journal of Applied Physiology*. 2000; 82 (3), 236-244.

Cannell LJ, Taunton JE, Clement DB, Smith C, y Khan KM. A randomised clinical trial of the efficacy of drop squats or leg extension/leg curl exercises to treat clinically diagnosed jumper's knee in athletes: pilot study. *Br J Sports Med*. 2001; 35(1), 60-64.

Chamorro G, Cesteros P. Epidemiología de las lesiones deportivas atendidas en urgencias. *Emergencias*. 2009; 21:5–11

Chard M, Sattelle L. The long-term outcome of rotatorcuff tendinitis – a review study. *Br J Rheumatol*. 1988; 27:385–9.

Chiu LZ, Salem GJ. Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *J Strength Cond Res*. 2006; 20 (3): 555 - 562.

Clark MG, Clerk LH., Newman J.M., Rattigan S. Interaction between metabolism and flow in tendon and muscle. *Scan J Med Sci Sports* 2000; 10(6):338-45.

Colliander EB, Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand*. 1990; 140 (1): 31 - 39.

Colliander E B, y Tesch PA. Effects of detraining following short term resistance training on eccentric and concentric muscle strength. *Acta Physiol Scand*. 1992, 144(1), 23-29.

Cook JL, Purdam CR. Is tendon pathology a continuum? A pathology model to explain the clinical presentation of load-induced tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2009; 43: 409-16.

Cook JL, Rio E, Purdam CR. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? *Br J Sport Med*. 2016;[Epub ahead].

Cools AM, Dewitte V, Lanszweert F, Notebaert D, Roets A, Soetens B. Rehabilitation of Scapular Muscle Balance: Which Exercises to Prescribe? *Am J Sports Med*. 2007;35(10):1744–51.

Cools AM, Vanderstukken F, Vereecken F, Duprez M, Heyman K, Goethals N. Eccentric and isometric shoulder rotator cuff strength testing using a hand-held dynamometer: reference values for overhead athletes. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2016;24(12):3838–3847.

Corps AN, Robinson AH, Harrall RL, Avery NC, Curry VA, Hazleman BL, Riley GP. Changes in matrix protein biochemistry and the expression of mRNA encoding matrix proteins and metalloproteinases in posterior tibialis tendinopathy. *Ann Rheum Dis*. 2012; 71(5), 746-752.

Coupe C, Kongsgaard M, Aagaard P, Hansen P, Bojsen-Moller J, Kjaer M, Magnusson SP. Habitual loading results in tendon hypertrophy and increased stiffness of the human patellar tendon. *J Appl Physiol*. 2008, 105(3), 805-810.

Croisier JL. Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med*. 2002; 30 (2): 199-203.

Croisier JL, Foidart-Dessalle M, Tinant F, Crielaard JM, y Forthomme B. An isokinetic eccentric programme for the management of chronic lateral epicondylar tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2007; 41(4), 269-275.

Cumps E, Verhagen E, Annemans L, Meeusen R. Injury rate and socio economic costs resulting from sports injuries inlanders: Data derived from sports insurance statistics 2003. *Br J Sports Med*. 2008 Sep;42(9):76772.

Danielson P. Reviving the “biochemical” hypothesis for tendinopathy: new findings suggest the involvement of locally produced signal substances. *Br J Sports Med*. 2009; 43(4), 265-268.

Day JM, Bush H, Nitz AJ. Scapular muscle performance in individuals with lateral epicondylalgia. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2015; 45(5):414–24.

De Hoyo M, Pozzo M, Sanudo B, Carrasco L, Gonzalo-Skok O, Dominguez-Cobo S. Effects of a 10-week In-Season Eccentric Overload Training Program on Muscle Injury Prevention and Performance in Junior Elite Soccer Players. *Int J Sport Physiol Perform*. 2014;10(1):46–52.

De Jonge S, Warnars JL, De Vos RJ, Weir A, van Schie HT, Bierma- Zeinstra SM, Verhaar JA, y Tol JL. Relationship between neovascularization and clinical severity in Achilles tendinopathy in 556 paired measurements. *Scand J Med Sci Sports*. 2014; 24(5), 773-778.

De Vries AJ, van der Worp H, Diercks RL, van den Akker-Scheek I, y Zwerver J. Risk factors for patellar tendinopathy in volleyball and basketball players: A survey-based prospective cohort study. *Scand J Med Sci Sports*. 2014.

Desjardins-Charbonneau A, Roy JS, Dionne CE, Frémont P, McDermid JC. The efficacy of manual therapy for rotator cuff tendinopathy: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2015; 45(5):330–50.

Dietz V, Schmidbleicher D, Noth J. Neuronal mechanisms of human locomotion. *J Neurophysiol.* 1979; 42(5), 1212-1222.

Dick R, Agel J, Marshall SW. National collegiate athletic association injury surveillance system commentaries: Introduction and methods. *Journal of Athletic Training.* 2007 Apr; 42(2): 173-82.

Doan BK, Newton RU, Marsit JL, Triplett-McBride NT, Koziris LP, Fry AC, Kraemer WJ. Effects of increased eccentric loading on bench press 1RM. *J Strength Cond Res.* 2002; 16(1), 9-13.

Dudley GA, Miller BJ, Buchanan P, Tesch PA. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med.* 1991; 62 (6): 543 - 550.

Duchateau J, Baudry S. Insights into the neural control of eccentric contractions. *J Appl Physiol.* 2013; published Ahead of Print February 21.

Edmondston SJ, Wallumrød ME, Macleod F, Kvamme LS, Joebgies S. Reliability of isometric muscle endurance tests in subjects with postural neck pain. *J Manip Physiol Ther.* 2008;31(5):348-54.

Ekstrand J. Epidemiology of football injuries. *Science & Sports.* 2008; 23: 73-77.

Ekstrand J, Häggglund M, Waldén M. Epidemiology of muscle injuries in professional football (soccer). *Am J Sports Med.* 2011; 39 (6): 1226-1232

Enoka RM. Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *J Appl Physiol.* 1996 ; 81(6): 2339 - 2346.

Eraslan U, Gelecek N. Effect of scapular muscle endurance on chronic shoulder pain in textile workers. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2013;26(1):25-31.

Fang Y, Siemionow V, Sahgal V, Xiong F, Yue GH. Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *J Neurophysiol.* 2001; 86: 1764 - 1772.

Farup J, Rahbek SK, Riis S, Vendelbo MH, Paoli F, Vissing K. Influence of exercise contraction mode and protein supplementation on human skeletal muscle satellite cell content and muscle fiber growth. *J Appl Physiol.* 2014, 117(8), 898-909.

Fernandez-Gonzalo R, Bresciani G, De Souza-Teixeira F, Hernandez-Murua JA, Jimenez-Jimenez R, Gonzalez-Gallego J, de Paz JA. Effects of a 4-week eccentric training program on the repeated bout effect in young active women. *JSSM*. 2011; 10 (4): 692 - 699.

Fick AF. *Mechanische Arbeit Und Warmeentwicklung Bei Der Muskelthatigkeit* [facsimile]. 1882. Leipzig (AI): F. A. Brockhaus.

Fiorentino NM, Epstein FH. Activation and aponeurosis morphology affect in vivo muscle tissue strains near the myotendinous junction. *Journal of Biomechanics*. 2012; 45 (4): 647-652.

Flanagan SD, Mills MD, Sterczala AJ, Mala J, Comstock BA, Szivak TK, DuPont WH, Looney DP, McDermott DM, Hooper DR, White MT, Dunn-Lewis C, Volek JS, Maresh CM, Kraemer WJ. The relationship between muscle action and repetition maximum on the squat and bench press in men and women. *J Strength Cond Res*. 2014; 28(9), 2437-2442.

Fredberg U, Stengaard-Pedersen K. Chronic tendinopathy tissue pathology, pain mechanisms, and etiology with a special focus on inflammation. *Scand J Med Sci Sports*. 2008; 18(1), 3-15.

Freeman MA, Wyke B. The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J Anat* .1967; 101 (3):505-32.

Frizziero A, Trainito S, Oliva F, Nicoli Aldini N, Masiero S. The role of eccentric exercise in sport injuries rehabilitation. *Br Med Bull*. 2014; 110(1):47–75.

Frohm A, Saartok T, Halvorsen K, Renstrom P. Eccentric treatment for patellar tendinopathy: a prospective randomised short-term pilot study of two rehabilitation protocols. *Br J Sports Med*. 2007; 41(7), e7.

Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, Häggglund M, McCrory P. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scand J Med Sci Sport*. 2006;16(2):83–92.

Fuller CW, Bahr R, Dick RW, Meeuwisse WH. A framework for recording recurrences, reinjuries, and exacerbations in injury surveillance. *Clin J Sport Med*. 2007 May;17(3):197200.

Fyfe I, Stanish WD. The use of eccentric training and stretching in the treatment and prevention of tendon injuries. *Clin Sports Med.* 1992; 11(3), 601- 624.

Gaida JE, Cook J. Treatment options for patellar tendinopathy: critical review. *Curr Sports Med Rep.* 2011; 10(5), 255-270.

García-López D. El entrenamiento excéntrico. Fundamentos y aplicaciones con población general y deportista En: Jiménez A, coord. *Nuevas dimensiones en el entrenamiento de la fuerza: aplicación de nuevos métodos, recursos y tecnologías.* INDE Publicaciones, 2008; 75 – 102.

Gerber LH, Shah J, Rosenberger W, Armstrong K, Turo D, Otto P, Heimur J, Thaker N. Dry Needling Alters Trigger Points in the Upper Trapezius Muscle and Reduces Pain in Subjects With Chronic Myofascial Pain. 2015;7:711–8.

Gillies AR, Lieber RL. Structure and function of the skeletal muscle extracellular matrix. *Muscle Nerve.* 2011; 44: 318–331.

Green S, Buchbinder R. Physiotherapy interventions for shoulder pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2003; 2:CD004258.

Grigg NL, Wearing SC, Smeathers JE. Eccentric calf muscle exercise produces a greater acute reduction in Achilles tendon thickness than concentric exercise. *Br J Sports Med.* 2009; 43(4), 280-283.

Gual G, Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodríguez D. Effects of In-Season Inertial Resistance Training With Eccentric Overload in a Sports Population at Risk for Patellar Tendinopathy. *J Strength Cond Res.* 2016; 30(7):1834–42.

Guinet P, Schneider SM, Macias BR, Watenpaugh DE, Hughson RL, Le Traon AP, Bansard JY, Hargens AR. WISE-2005: effect of aerobic and resistive exercises on orthostatic tolerance during 60 days bed rest in women. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 106 (2): 217 - 227.

Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P. GRADE Working Group. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ.* 2008;336:924–6.

Häggglund M, Walden M, Til L, Pruna R. The importance of epidemiological research in sports medicine. (Editorial) *Apunts Med de l'Esport.* 2010; 45 (166):57-59.

Hanchard NC, Goodchild L, Thompson J, O'Brien T, Davison D, Richardson C. Evidence-based clinical guidelines for the diagnosis, assessment and physiotherapy management of contracted (frozen) shoulder: quick reference summary. *Physiotherapy*. 2012; 98(2):117–20.

Hannukainen J, Kalliokoski KK, Nuutila P, Fujimoto T, Kemppainen J, Viljanen T, Laaksonen MS, Parkkola R, Knuuti J, Kjaer M. In vivo measurements of glucose uptake in human Achilles tendon during different exercise intensities. *Int J Sports Med*. 2005; 26(9), 727-731.

Hanratty CE, McVeigh JG, Kerr DP, Basford JR, Finch MB, Pendleton A. The Effectiveness of Physiotherapy Exercises in Subacromial Impingement Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Semin Arthritis Rheum*. 2012;42:297–316.

Hather B, Tesch P, Buchanan P, Dudley G. Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol Scand*. 1991; 143 (2): 177 - 185.

Heinemeier KM, Olesen JL, Haddad F, Langberg H, Kjaer M, Baldwin KM, Schjerling P. Expression of collagen and related growth factors in rat tendon and skeletal muscle in response to specific contraction types. *J Physiol*. 2007; 582 (Pt 3), 1303-1316.

Heinemeier KM, Olesen JL, Haddad F, Langberg H, Kjaer M, Baldwin KM, Schjerling P. Expression of collagen and related growth factors in rat tendon and skeletal muscle in response to specific contraction types. *J Physiol*. 2007; 582 (Pt 3), 1303-1316.

Heinemeier KM, Olesen JL, Haddad F, Schjerling P, Baldwin KM, Kjaer M. Effect of unloading followed by reloading on expression of collagen and related growth factors in rat tendon and muscle. *J Appl Physiol*. 2009; 106(1), 178-186.

Hill AV. Production and absorption of work by muscle. *Science*. 1990, 131 (3404), 897-903.

Holmgren T, Bjornsson Hallgren H, Oberg B, Adolfsson L, Johansson K. Effect of specific exercise strategy on need for surgery in patients with subacromial impingement syndrome: randomised controlled study. *BMJ*. 2012, 344, e787.

Holmgren T, Hallgren HB, Oberg B, Adolfsson L, Johansson K. Republished research: effect of specific exercise strategy on need for surgery in patients with subacromial impingement syndrome: randomised controlled study. *Br J Sports Med*. 2013; 47(14), 908.



Holmgren T, Hallgren HB, Oberg B, Adolfsson L, Johansson K. Effect of specific exercise strategy on need for surgery in patients with subacromial impingement syndrome: randomised controlled study. *Br J Sports Med*. 2014; 48(19), 1456-1457.

Hortobágyi T, Hill JP, Houmard JA, Fraser DD, Lambert NJ, Israel RG. Adaptive responses to muscle lengthening and shortening in humans. *J Appl Physiol*. 1996; 80 (3): 765 - 772.

Hortobágyi T, Barrier J, Beard D, Braspennincx J, Koens P, Devita P, Dempsey L, Lambert J. Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening. *J Appl Physiol*. 1996; 81(4), 1677-1682.

Hortobágyi T, Dempsey L, Fraser D, Zheng D, Hamilton G, Lambert J, Dohm L. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. *J Physiol*. 2000; 524 Pt 1, 293-304.

Hueser D, Wolff C, Berg HE, Tesch PA, Cork M. The flywheel exercise device (FWED): A countermeasure against bone loss and muscle atrophy. *Acta Astronaut*. 2008; 62 (2): 232 - 239.

Jarvinen M, Jozsa L, Kannus P, Jarvinen TL, Kvist M, Leadbetter W. Histopathological findings in chronic tendon disorders. *Scand J Med Sci Sports*. 1997; 7(2): 86–95.

Jonsson P, Alfredson H. Superior results with eccentric compared to concentric quadriceps training in patients with jumper's knee: a prospective randomised study. *Br J Sports Med*. 2005; 39(11), 847-850.

Jonsson P, Wahlström P, Ohberg L. Eccentric training in chronic painful impingement syndrome of the shoulder: results of a pilot study. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2006; 14:76–81.

Joshi M, Thigpen CA, Bunn K, Karas SG. Shoulder external rotation fatigue and scapular muscle activation and kinematics in overhead athletes. *J Athl Train*. 2011;46(4):349–57.

Jozsa L, Balint BJ, Reffy A, Demel Z. Hypoxic alterations of tenocytes in degenerative tendinopathy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1982; 99(4), 243-246.

Jozsa L, Kannus P. Humans tendons: anatomy, physiology and pathology. Champaign: Human Kinetics; 1997.

Junge A, Langevoort G, Pipe A, Peytavin A, Wong F, Mountjoy M. Injuries in team sport tournaments during the 2004 olympic games. *Am J Sports Med.* 2006 Apr;34(4):565-76.

Junge A, Engebretsen L, Alonso JM, Renstrom P, Mountjoy M, Aubry M. Injury surveillance in multisport events: The international olympic committee approach. *BrJ Sports Med.* 2008 Jun; 42(6):413-21

Jurado A, Medina I. Estructura del tendón. En: *Tendón. Valoración y tratamiento de fisioterapia.* Barcelona: Paidotribo; 2008: 7-37.

Kastelic J, Palley I, Baer E. A structural mechanical model for tendon crimping. *J Biomech.* 1980; 13(10), 887-893.

Kaux JF, Drion P, Libertiaux V, Colige A, Hoffmann A, Nussgens B, Besancon B, Forthomme B, Le Goff C, Franzen R, Defraigne JO, Cescotto S, Rickert M, Crielaard JM, Croisier JL. Eccentric training improves tendon biomechanical properties: a rat model. *J Orthop Res.* 2013; 31(1), 119-124.

Kawakami Y, Abe T, Kuno S, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *European Journal of Applied Physiology.* 1995; 72, 37-43.

Kaya DO, Baltaci G, Toprak U. The Clinical and Sonographic Effects of Kinesiotaping and Exercise in Comparison With Manual Therapy and Exercise for Patients with Subacromial Impingement Syndrome: A Preliminary Trial. *J Manip Physiol Ther.* 2014;37:422-32.

Kelly SB, Brown LE, Hooker SP, Swan PD, Buman MP, Alvar BA, Black LE. Comparison of Concentric and Eccentric Bench Press Repetitions to Failure. *J Strength Cond Res.* 2014.

Ker RF. Mechanics of tendon, from an engineering perspective. *Int J Fatigue.* 2007, 29(6), 1001-1009.

Khan KM, Bonar F, Desmond PM, Cook JL. Patellar tendinosis (jumper's knee): findings at histopathologic examination, US, and MR imaging. Victorian Institute of Sport Tendon Study Group. *Radiology.* 1996; 200(3), 821-827.

Khan K, Cook JL, Bonar F, Harcourt P, Astrom M. Histopathology of common Tendinopathies. *Sports Med.* 1999; 27 (6): 393-408.

Kingma JJ, de Knikker R, Wittink HM, Takken T. Eccentric overload training in patients with chronic Achilles tendinopathy: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2007;41(6):e3.

Kirkendall DT, Garret WE. Function and biomechanics of tendons. *Scand J Med Sci Sports*. 1997;7:62-6.

Kjaer M, Heinemeier KM. Eccentric exercise: acute and chronic effects on healthy and diseased tendons. *J Appl Physiol*. 2014, 116(11), 1435-1438.

Knuttgen HG, Komi PV. Basic considerations for exercise. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell scientific publications. 2003; 3 - 7.

Koen H, Peers E, Lysens R. Patellar tendinopathy in Athletes. Current diagnostic and therapeutic recommendations. *Sports Med*. 2005; 35 (1): 71-87.

Kongsgaard M, Reitelseder S., Pedersen TG, Holm L, Aagaard P, Kjaer M, Magnusson SP. Region specific patellar tendon hypertrophy in humans following resistance training. *Acta Physiol*. 2007 (Oxf), 191(2), 111-121.

Kountouris A. Rehabilitation of Achilles and patellar tendinopathies. *Best Pr Res Clin Rheumatol*. 2007;21(2):295–316.

Kraemer WJ, Vingren JL. Muscle Anatomy. In: Brown LE, editor. *Strength Training*. Champaign: Human Kinetics. 2007; 3 – 28.

Kraemer R, Wuerfel W, Lorenzen J, Busche M, Vogt PM, Knobloch K. Analysis of hereditary and medical risk factors in Achilles tendinopathy and Achilles tendon ruptures: a matched pair analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2012; 132(6), 847-853.

Larsson ME, Kall I, Nilsson-Helander K. Treatment of patellar tendinopathy--a systematic review of randomized controlled trials. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012; 20(8), 1632-1646.

Lastayo PC, Reich TE, Urquhart M, Hoppeler H, Lindstedt SL. Chronic eccentric exercise: improvements in muscle strength can occur with little demand for oxygen. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 1999; 276 (2): R611 - R615.

LaStayo PC, Pierotti DJ, Pifer J, Hoppeler H, Lindstedt SL. Eccentric ergometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2000; 278 (5): R1282 – R1288.

Lian OB, Engebretsen L, Bahr R. Prevalence of jumper's knee among elite athletes from different sports: a cross-sectional study. *Am J Sports Med*. 2005; 33(4), 561-567.

Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP, Clarke M, Devereaux PJ, Kleijnen J. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol*. 2009; 62:e1-34.

Lieber RL, Leonard ME, Brown-Maupin CG. Effects of muscle contraction on the load-strain properties of frog aponeurosis and tendon. *Cells Tissues Organs*. 2000, 166(1):48–54.

Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci*. 2001; 16 (6): 256 - 261.

Littlewood C, Ashton J, Chance-Larsen K, May S, Sturrock B. Exercise for rotator cuff tendinopathy: a systematic review. *Physiotherapy*. 2012;98:101–9.

Littlewood C, May S, Walters S. Epidemiology of rotator cuff tendinopathy: a systematic review. *Shoulder Elb*. 2013;5:256–265.

Littlewood C, Malliaras P, Mawson S, May S, WS. Development of a self-managed loaded exercise programme for rotator cuff tendinopathy. *Physiotherapy*. 2013;99:358–362.

Littlewood C, Malliaras P, C-LK. Therapeutic exercise for rotator cuff tendinopathy: a systematic review of contextual factors and prescription parameters. *Int J Rehabil Res*. 2015;38(2):95–106.

Lorenz D, Reiman M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2011;6(1):27–44.

Ludewig P, BJ. Effects of a home exercise programme on shoulder pain and functional status in construction workers. *J Occ Envi Med*. 2003;60:841–9.

Luque-Suarez A, Rondon-Ramos A, Fernandez-Sanchez M, Roach KE, Morales-Asencio JM. Spanish version of SPADI (shoulder pain and disability index) in musculoskeletal shoulder pain: a new 10-items version after confirmatory factor analysis. *Health Qual Life Outcomes* [Internet]. 2016;14(1):32.

Mair SD. The role of fatigue in susceptibility to acute muscle strain injury. *Am J Sports Med*. 1996; 24(2): 137-143.

Maenhout AG, Mahieu NN, De Muynck M, De Wilde LF, CA. Does adding heavy load eccentric training to rehabilitation of patients with unilateral subacromial impingement result in better outcome? A randomized, clinical trial. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2013;21:1158–67.

Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83(8):713–21.

Maganaris CN, Narici MV. Mechanical properties of tendons. En: *Tendon Injuries. Basic science and clinical medicine*. London: Springer. 2005: 14-21.

Magnusson SP, Hansen P, Kjaer M. Tendon properties in relation to muscular activity and physical training. *Scand J Med Sci Sports*. 2003. 13(4), 211-223.

Malliaras P, Kamal B, Nowell A, Farley T, Dhamu H, Simpson V, Morrissey D, Langberg H, Maffulli N, Reeves ND. Patellar tendon adaptation in relation to load-intensity and contraction type. *J Biomech*. 2013, 46(11), 1893-1899.

Malliaras P, Barton CJ, Reeves ND, LH. Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: a systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sport Med*. 2013;43:267–86.

McClure PW, Bialker J, Neff N, Williams G, Karduna A. Shoulder function and 3-dimensional kinematics in people with shoulder impingement syndrome before and after a 6-week exercise program. *Phys Ther*. 2004;84(9):832–48.

McDermid JC, Ramos J, Drosdowech D, Faber K, PS. The impact of rotator cuff pathology on isometric and isokinetic strength, function, and quality of life. *J Shoulder Elb Surg*. 2004;13(6):593–8.

McDermid JC, Solomon P, Prkachin K. The Shoulder Pain and Disability Index demonstrates factor, construct and longitudinal validity. *BMC Musculoskelet Disord*. 2006;7:12.

McIntosh BR, Gardiner PF, McComas AJ. *Skeletal Muscle. Form and Function*. Human Kinetics, Second Edition, 2006.

McHugh MP. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports*. 2003; 13 (2): 88 - 97.

Meyer A, Tumilty S, Baxter GD. Eccentric exercise protocols for chronic non-insertional Achilles tendinopathy: how much is enough? *Scand J Med Sci Sports*. 2009, 19(5), 609-615.

Meylan C, Cronin J, Nosaka K. Isoinertial assessment of eccentric muscular strength. *Strength Cond J*. 2008; 30 (2): 56 - 64.

Millar NL, Murrell GA. Heat shock proteins in tendinopathy: novel molecular regulators. *Mediators Inflamm*. 2012, 436203.

Moir GL, Erny KF, Davis SE, Guers JJ, Witmer CA. The development of a repetition-load scheme for the eccentric-only bench press exercise. *J Hum Kinet*. 2013, 38, 23-31.

Moreno Pascual C, RP V. Epidemiología de las lesiones deportivas. *Fisioterapia*. 2008; 30(1):40-8

Mueller-Wohlfahrt HW, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B, McNally S, Orchard J, van Dijk CN, Kerkhoffs GM, Schamasch P, Blottner D, Swaerd L, Goedhart E, Uebliacker P. Terminology and classification of muscle injuries in sport: the Munich consensus statement. *Br J Sports Med*. 2013; 47 (6): 342-350.

Murphy D F. Risk factors for lower extremity injury: a review of the literature. *Br J Sports Med*. 2003; 37: 13-29

Narici M. Human skeletal muscle architecture studied in vivo y non-invasive imaging techniques: functional significance and applications. *Journal Electromyography Kinesiology*. 1999, 9 (2), 97-103.

Nicastro H, Zanchi NE, Luz CR da, Lancha AH. Functional and morphological effects of resistance exercise on disuse-induced skeletal muscle atrophy. *Braz J Med Biol Res* [Internet]. 2011;44(11):1070–193.

Nicholas MK. The pain self-efficacy questionnaire: Taking pain into account. *Eur J Pain*. 2007;11:153–63.

Norrbbrand L, Fluckey JD, Pozzo M, Tesch PA. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*. 2008; 102 (3): 271 - 281.

Norrbbrand L, Pozzo M, Tesch PA. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*. 2010; 110 (5): 997 - 1005.

Norrbbrand L, Tous-Fajardo J, Vargas R, Tesch PA. Quadriceps muscle use in the flywheel and barbell squat. *Aviat Space Environ Med*. 2011; 82 (1): 13 - 19.

Noya Salces J, Gómez-Carmona PM, Gracia-Marco L, Moliner-Urdiales D, SQM. Epidemiology of injuries in First Division Spanish football. *J Sport Sci*. 2014;32(13):1263–70

O'brien M. Structure and metabolism of tendons. *Scan J Med Sci Sports*. 1997; 7: 55-61.

O'Brien M. Anatomy of tendons. In: *Tendon Injuries. Basic science and clinical medicine*. London: Springer. 2005. 3-13.

Obst SJ, Barrett RS, Newsham-West R. Immediate effect of exercise on achilles tendon properties: systematic review. *Med Sci Sports Exerc*. 2013; 45(8), 1534-1544.

Ohberg L, Alfredson H. Effects on neovascularisation behind the good results with eccentric training in chronic mid-portion Achilles tendinosis? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004; 12(5), 465-470.

Onambélé GL, Maganaris CN, Mian OS, Tam E, Rejc E, McEwan IM. Neuromuscular and balance responses to flywheel inertial versus weight training in older persons. *J Biomech*. 2008; 41 (15): 3133 - 3138.

Osorio Ciro JA, Clavijo Rodríguez MP, Arango VE, Patiño Giraldo S, GCI. Lesiones deportivas. Iatreia. 2007;20 (2):167–77.

Østerås H, Arild Torstensen T, Arntzen G, SØB. A comparison of work absence periods and the associated costs for two different modes of exercise therapies for patients with longstanding subacromial pain. J Med Econ. 2008;11(3):371–81.

Paulsen GK, Crameri R, Benestad HB, Fjeld JG, Morkrid L, Hallen J, Raastad T. Time course of leukocyte accumulation in human muscle after eccentric exercise. Med Sci Sports Exerc. 2010; 42 (1): 75 - 85.

Pavone E, Moffat M. Isometric torque of the quadriceps femoris after concentric, eccentric and isometric training. Arch Phys Med Rehabil. 1985; 66(3), 168-170.

Pettrons P. Ultrasound of muscles. Eur Radiol. 2002; 12: 35–43.

Peñailillo L, Blazeovich A, Numazawa H, Nosaka K. Metabolic and muscle damage profiles of concentric versus repeated eccentric cycling. Med Sci Sports Exerc. 2013; 45(9), 1773-1781.

Peters JL, Sutton AJ, Jones DR, Abrams KR RL. Performance of the trim and fill method in the presence of publication bias and between-study heterogeneity. Stat Med. 2007;26:4544–62.

Pingel J, Fredberg U, Qvortrup K, Larsen JO, Schjerling P, Heinemeier KM, Kjaer M, Langberg H. Local biochemical and morphological changes in human Achilles tendinopathy: a case control study. BMC Musculoskelet Disord. 2012; 13, 53.

Pfeiffer R. El concepto de lesión deportiva. In: Pfeiffer R, Mangus B, editors. Las lesiones deportivas. 2a ed. Les Gulxeres: Paidotribo. 2007. p. 15 31.

Purdam CR, Jonsson P, Alfredson H, Lorentzon R, Cook JL, Khan KM. A pilot study of the eccentric decline squat in the management of painful chronic patellar tendinopathy. Br J Sports Med 2004; 38(4), 395-397.

Raeder C, Wiewelhove T, Westphal-Martinez MP, Fernandez-Fernandez J, de Paula Simola RA, Kellmann M, Meyer T, Pfeiffer M FA. Neuromuscular Fatigue and Physiological Responses After Five Dynamic Squat Exercise Protocols. J Strength Cond Res. 2016 ;30(4):953–65.



Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TE, Housh TJ, Ben Kibler W, Kraemer WJ, Triplett NT. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009; 41 (3): 687 - 708.

Ratamess NA. *ACSM's foundations of strength training and conditioning.* Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2012.

Rathbun JB, Macnab I. The microvascular pattern of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br.* 1970; 52(3): 540-53.

Raue U, Terpstra B, Williamson DL, Gallagher PM, Trappe SW. Effects of short-term concentric vs. eccentric resistance training on single muscle fiber MHC distribution in humans. *Int J Sports Med.* 2005; 26(5), 339-343.

Rees JD, Lichtwark GA, Wolman RL, Wilson AM. The mechanism for efficacy of eccentric loading in Achilles tendon injury; an in vivo study in humans. *Rheumatology* 2008; (Oxford), 47(10), 1493-1497.

Reeves ND, Maganaris CN, Longo S, Narici MV. Differential adaptations to eccentric versus conventional resistance training in older humans. *Exp Physiol.* 2009; 94(7), 825-833.

Riley G. Tendinopathy--from basic science to treatment. *Nat Clin Pract Rheumatol.* 2008; 4(2), 82-89.

Rittweger J, Frost HM, Schiessl H, Ohshima H, Alkner B, Tesch P, Felsenberg D. Muscle atrophy and bone loss after 90 days' bed rest and the effects of flywheel resistive exercise and pamidronate: results from the LTBR study. *Bone.* 2005; 36 (6): 1019 - 1029.

Roach KE, Budiman-Mak E, Songsiridej N, Lertratanakul Y. Development of a shoulder pain and disability index. *Arthritis Care Res.* 1991;4(4):143-9.

Roig M, Shadgan B, Reid WD. Eccentric exercise in patients with chronic health conditions: a systematic review. *Physiother Can.* 2008; 60 (2):146 - 160.

Roig M, O'Brien K, Kirk G, Murray R, McKinnon P, Shadgan B, Reid WD. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2009; 43(8), 556-568.

Romero-Rodriguez D, Gual G TP. Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Phys Ther Sport*. 2011;12(1):43–8.

Ross EC, Simmons CA. *Introductory biomechanics from cells to organisms*. Cambridge University Press. 2007.

Roos KG, Wasserman EB, Dalton SL, Gray A, Djoko A, Dompier TP KZ. Epidemiology of 3825 injuries sustained in six seasons of National Collegiate Athletic Association men's and women's soccer (2009/2010-2014/2015). *Br J Sport Med*. 2016; [Epub ahead].

Rowe V, Hemmings S, Barton C, Malliaras P, Maffulli N MD. Conservative management of midportion Achilles tendinopathy: a mixed methods study, integrating systematic review and clinical reasoning. *Sport Med*. 2012;42(11):941–67.

Schneider SM, Lee SM, Macias BR, Watenpaugh DE, Hargens AR. WISE-2005: Exercise and nutrition countermeasures for upright VO<sub>2</sub>pk during bed rest. *Med Sci Sports Exerc*. 2009; 41 (12): 2165 - 2176.

Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res*. 2010; 24(10), 2857-2872.

Seliger V, Dolejs L, Karas V, Pachlopnikova I. Adaptation of trained athletes' energy expenditure to repeated concentric and eccentric muscle contractions. *Int Z Angew Physiol*. 1968; 26(3), 227-234.

Selvanetti A, Barrucci A, Antonaci A. The role of eccentric exercise in the functional re-education of lateral epicondylitis: a randomised controlled clinical trial. *Med Sport* 2003. (Roma), 56, 103-113.

Seynnes OR, de Boer M, Narici MV. Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *J Appl Physiol*. 2007; 102 (1): 368 – 373.

Sharma P, Maffulli N. Biology of tendon injury: healing, modeling and remodeling. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2006; 6(2), 181-190.

Shephard RJ, Brenner IK, Bateman WA, Shek PN. Basic recruit training: Health risks and opportunities. *Mil Med*. 2001;Aug;166(8):714-20.

Schünemann HJ BJ. GRADEpro Guideline Development Tool. Hamilton, Canada, McMaster University. 2015.

Silbernagel KG, Thomeé R, Thomeé P KJ. Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain--a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sport*. 2001;11(4):197–206.

Silbernagel KG, CK. A Proposed Return-to-Sport Program for Patients With Midportion Achilles Tendinopathy: Rationale and Implementation. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2015;45(11):876–86.

Smith JW. Blood supply of tendons. *Am J Surg* 1965; 109:272-6.

Smith RC, Rutherford OM. The role of metabolites in strength training. I. A comparison of eccentric and concentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995; 71(4), 332-336.

Stanish WD, Rubinovich RM, Curwin S. Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin Orthop Relat Res*. 1998; (208), 65-68.

Stasinopoulos D, MP. Comparing two eccentric exercise programmes for the management of Achilles tendinopathy. A pilot trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2013;17(3):309–15.

Sterud T, Johannessen HA, Tynes T. Do Work-Related Mechanical and Psychosocial Factors Contribute to the Social Gradient in Low Back Pain?: A 3-Year Follow-Up Study of the General Working Population in Norway. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41(13):1089–95.

Stroup DF, Berlin JA, Morton SC, Olkin I, Williamson GD, Rennie D, Moher D, Becker BJ, Sipe TA TS. Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting. Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) group. *JAMA*. 2000;283:2008–12.

Sussmilch-Leitch SP, Collins NJ, Bialocerkowski AE, Warden SJ, Crossley KM. Physical therapies for Achilles tendinopathy: systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Res*. 2012; 5(1), 15.

Tekavec E, Jöud A, Rittner R, Mikoczy Z, Nordander C, Petersson IF EM. Population-based consultation patterns in patients with shoulder pain diagnoses. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:238.

Tekeoglu I, Ediz L, Hiz O, Toprak M, Yazmalar L KG. The relationship between shoulder impingement syndrome and sleep quality. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2013;17(3):370–4.

Tesch P, Ekberg A, Lindquist D, Trieschmann J. Muscle hypertrophy following 5-week resistance training using a non-gravity-dependent exercise system. *Acta Physiol Scand*. 2004; 180 (1): 89 - 98.

Tous-Fajardo J, Maldonado RA, Quintana JM, Pozzo M, Tesch PA. The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *Int J Sports Physiol Perform*. 2006; 1 (3): 293 - 298.

Tous J. Entrenamiento de la fuerza mediante cargas excéntricas. In: Romero D, Tous J, editors. *Prevención de lesiones en el deporte*. Madrid: Editorial Medica Panamericana; 2011. p. 217 39.

Trappe S, Trappe T, Gallagher P, Harber M, Alkner B, Tesch PA. Human single muscle fibre function with 84 day bed-ret and resistance exercise. *J Physiol*. 2004; 557 (Pt2): 501 – 513.

Van der Plas A, de Jonge S, de Vos RJ, van der Heide HJ, Verhaar JA, Weir A, Tol JL. A 5-year follow-up study of Alfredson's heel- drop exercise programme in chronic midportion Achilles tendinopathy. *Br J Sports Med*. 2012; 46(3), 214-218.

Van der Worp H, van Ark M, Roerink S, Pepping GJ, van den Akker-Scheek I, Zwerver J. Risk factors for patellar tendinopathy: a systematic review of the literature. *Br J Sports Med*. 2011; 45(5), 446-452.

Van Mechelen W, Hlobil H, Kemper HC. Incidence, severity, aetiology and prevention of sports injuries. A review of concepts. *Sports Med*. 1992 Aug;14(2):82-99.

Vikne H, Refsnes PE, Ekmark M, Medbo JI, Gundersen V, Gundersen K. Muscular performance after concentric and eccentric exercise in trained men. *Med Sci Sports Exerc*. 2006; 38(10), 1770-1781.

Visnes H, Bahr R. The evolution of eccentric training as treatment for patellar tendinopathy (jumper's knee): a critical review of exercise programmes. *Br J Sports Med*. 2007; 41(4), 217-223.

Yablonka Reuveni Z. The skeletal muscle satellite cell: still young and fascinating at 50. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. 2011; 59: 1041-1050.

Young MA, Cook JL, Purdam CR, Kiss ZS, Alfredson H. Eccentric decline squat protocol offers superior results at 12 months compared with traditional eccentric protocol for patellar tendinopathy in volleyball players. *Br J Sports Med*. 2005; 39(2), 102-105.

Wang JH. Mechanobiology of tendon. *J Biomech*. 2006; 39(9), 1563-1582.

Westing SH, Cresswell AG, Thorstensson A. Muscle activation during maximal voluntary eccentric and concentric knee extension. *Eur J Appl Physiol*. 1991; 62 (2): 104 - 108.

Wirth K, Keiner M, Szilvas E, Hartmann H, Sander A. Effects of eccentric strength training on different maximal strength and speed- strength parameters of the lower extremity. *J Strength Cond Res*. 2014.

Zuckerman SL, Wegner AM, Roos KG, Djoko A, Dompier TP KZ. Injuries sustained in National Collegiate Athletic Association men's and women's basketball, 2009/2010-2014/2015. *Br J Sport Med*. 2016;[Epub ahea].

## **CAPÍTULO X**

### **ANEXOS**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **ANEXO 1: PROYECTO INVESTIGACIÓN: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO ISOINERCIAL EN LA PATOLOGÍA DEL MANGUITO ROTADOR**

### **PROYECTO SOBRE DOLOR DE HOMBRO Y FISIOTERAPIA**

#### **HOJA INFORMATIVA PARA EL PACIENTE**

1.- El proyecto de investigación sobre dolor de hombro y fisioterapia está dirigido para aquellas personas que sean deportistas, que padecen dolor de hombro no originado por cirugía, fractura, u otra enfermedad, y cuyo dolor de hombro este asociado a una tendinopatía del manguito rotador. El objetivo del proyecto será evaluar los efectos del entrenamiento isoinercial en la mejora del dolor y la función en pacientes con tendinopatía del manguito rotador.

2.- Cada participante será evaluado en una entrevista previa realizada por los médicos reclutados por el equipo de investigación para los propósitos del estudio, donde se le harán unas preguntas sobre su hombro, y una serie de pruebas de movilidad en la zona de la espalda y hombro para detectar si cumplen o no los criterios de inclusión del estudio. Si cumplen los criterios y dichos participantes quieren formar parte del estudio, se les comentará en qué consistirá el estudio, la realización de un cuestionario auto-reportado recogiendo las variables sociodemográficas (edad, sexo, nivel educativo), la aplicación de un dinamómetro (instrumento que mide la fuerza del participante) que no supone ningún efecto adverso para el participante y los ejercicios que se llevarán a cabo.

3.- La selección de los participantes del estudio así como la realización del cuestionario, las mediciones de fuerza y la aplicación de los ejercicios serán aplicadas por profesionales sanitarios titulados y con experiencia previa.

4.- Los participantes en este proyecto podrán abandonar en cualquier momento el mismo si así lo consideran oportuno, sin que tengan que dar explicación alguna al motivo del abandono. Dicho abandono no influirá en absoluto a sus cuidados sanitarios.

5.- Los participantes que acepten participar en el estudio se comprometen a seguir las recomendaciones que por parte del equipo investigador se le hagan llegar.

6.- Los datos obtenidos en el proyecto serán utilizados para una publicación posterior en revistas de Fisioterapia. Se mantendrá en todo momento el anonimato de los participantes, de acuerdo a la normativa de protección de datos (Ley 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal). El equipo investigador podrá informarle de los resultados obtenidos una vez acabado el proyecto.

7.- Para cualquier duda o aclaración sobre el proyecto, podrán ponerse en contacto con el siguiente investigador:

Francisco Gámez Aragüez (pgamez@uma.es)



#### EQUIPO DE INVESTIGACIÓN:

Investigadores principales: Francisco Gámez Aragüez, responsable del Área de Salud de Elcano Sport Clinic; y Alejandro Luque Suárez, Universidad de Málaga

Investigador colaborador: Javier Martínez Calderón, Área de Fisioterapia de la Universidad de Málaga.

Los miembros del equipo de investigación declaran no poseer conflicto de intereses en este estudio. Los posibles gastos ocasionados en este estudio relativos al material fungible necesario serán sufragados por el programa de doctorado de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de Málaga. El participante en este estudio no tendrá que asumir ningún coste económico.

## ANEXO 2: CONSENTIMIENTO INFORMADO

### CONSENTIMIENTO INFORMADO

D./ña. \_\_\_\_\_, de \_\_\_\_ años de edad y con DNI nº \_\_\_\_\_, manifiesta que ha sido informado/a sobre los objetivos del Proyecto de Investigación titulado “Efectos del entrenamiento isoinercial en la patología del manguito rotador”.

He sido informado/a que mi participación en este estudio no supone ningún perjuicio sobre mi bienestar y salud y de que mis datos personales serán protegidos, de acuerdo a la normativa de protección de datos (Ley 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal).

Tomando ello en consideración, OTORGO mi CONSENTIMIENTO a la realización de cuestionarios y mediciones sobre el dolor de hombro que padezco, y que la información obtenida sea utilizada para cubrir los objetivos especificados en el proyecto.

Málaga, a \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2016

Fdo.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **CAPÍTULO XI**

### **PUBLICACIONES**



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

## **PUBLICACIÓN 1: SYSTEMATIC REVIEW.**

“The effectiveness of isoinertial training in the prevention and management of lower limbs sport injuries: a systematic review.”

Francisco Gamez-Araguez PT, MSc, Javier Martinez-Calderon PT, MSc a\*, Alejandro Luque-Suarez PhD a

a Department of Physiotherapy, University of Malaga, Malaga, Spain

\*Corresponding author. Address: Faculty of Health Science, University of Malaga, Arquitecto Francisco Penalosa, 3, 29071 Malaga, Spain. Tel.: + 00 34 655 57 05 95  
Email address:aluques@uma.es

ALS conceived of the study. ALS and FGA initiated the study design and JMChelped with implementation. ALS and FGAreviewed the included studies and ALS conducted the primary statistical analysis. All authors contributed to refinement of the systematic review and approved the final manuscript.

Number of text pages of the entire manuscript (including figures and tables):

Number of figures: 3

Number of tables: 2

## **DISCLOSURES**

This research did not receive any funding sources from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. The authors report no conflict of interest.

## **ABSTRACT**

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of isoinertial training in the prevention and management of lower limbs sports injuries. Electronic databases including Medline, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus, and PEDro were used from inception to August 2016. Study selection was based on randomized controlled trials and clinical studies testing the preventive and/or therapeutic value of isoinertial training in lower limbs sport injuries (LLSI). The PEDro scale and The Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation system (GRADE) were used to evaluate the quality of studies and the quality of the evidence respectively. The search strategy yielded 2,346 results. Forty-eight full-text papers were assessed for eligibility and 5 articles met the inclusion criteria. Outcome measures included in this review were, as follows: pain-function, range of motion, muscle performance, muscle strength, days of absence per injury, running speed, and delayed onset muscle soreness. Based on this limited evidence isoinertial training, using a flywheel device, was a good method in the prevention (higher muscle performance, muscle strength, running speed, and lower number of days of absence per injury), and in the management (decreasing pain intensity and increasing function) of LLSI. Nevertheless,

the quality of evidence of these findings is very low, and further research is needed.

**PROSPERO:CRD42016038419**

## **PRACTICAL APPLICATIONS**

Clinicians and medical sport staff could consider using isoinertial training, not only in sports population, but also in general population, as this approach might improve pain, function, muscle performance and/or muscle strength, which are associated with a vast variety of musculoskeletal disorders, affecting both athlete and non-athlete populations.

**Key Words:** musculoskeletal pain; exercise therapy; eccentric overload training; flywheel; isoinertial training.

## **INTRODUCTION**

Lower limb injuries are one of the most common musculoskeletal conditions in sports field (1,2). Their prevalence ranges from 1.7 to 53 per 1000h during competition, and 0.8 to 90 per 1000h during training (3), being a socioeconomic burden in sports populations. One possible explanation of this prevalence might be the continuous impact actions through cutting, jumping, and/or sprinting that predispose athletes to a lower limb injury (4). Muscle and tendon lower limb injuries occur frequently in the sports field (5–7). Muscle injuries are associated with high-intensity eccentric efforts, whereas tendon injuries are more related to biomechanical alterations due to high training volumes or overuse (8–10).

There are many non-surgical therapeutic strategies to treat lower limb injuries, such as stretching, manipulation, electrotherapy, exercise therapy, and/or corticosteroid injections (11–13). Exercise therapy seems to be one of the most widely used due to its effectiveness and low costs (14,15). Among exercise therapy techniques, the eccentric exercise is gaining importance in the prevention and management of musculoskeletal injuries in sports (16,17). Several protocols have been carried out in order to reduce pain and improve function in athletes through eccentric training (18–20).

In line with this, isoinertial training (a modality of eccentric training), that uses a flywheel device, has emerged as a method that permits to accelerate during the concentric phase of the exercise, bringing to a standstill in a (shorter) eccentric phase, providing eccentric overload (21). Some evidence has shown good results in the use of isoinertial training in increasing muscle strength, running speed, and muscle endurance in athletes (21,22). Even though, isoinertial training seems to be a promising therapeutic strategy to reduce pain intensity and disability in musculoskeletal disorders (23,24), to our knowledge, there is not a synthesis of evidence about its effectiveness on the prevention and management of musculoskeletal sports injuries. Therefore, the aim of this study was to systematically review and synthesize the literature on the

effectiveness of isoinertial training in the prevention and the management of lower limbs sports injuries (LLSI).

## METHODS

This review was conducted in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement (25), on the basis of a predefined protocol available from the International Prospective Register of Systematic Reviews (PROSPERO:CRD42016038419). Methods of the analysis and inclusion criteria were specified in advance.

### Data Sources and Search Strategy

We systematically searched the following electronic databases, from earliest record to August 2016, using optimized search strategies: Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and Physiotherapy Evidence Database (PEDro). Citation tracking was performed for eligible studies, and for previously published relevant reviews, in order to identify studies missed by the electronic search. A sensitive search strategy with the following search terms, were used: “sports medicine” [MeSH Terms], “therapeutics” [MeSH Terms], “return to sport” [MeSH Terms], “tendon injuries” [MeSH Terms], “tendinopathy” [MeSH Terms], “musculoskeletal pain” [MeSH Terms], “musculoskeletal diseases” [MeSH Terms], isoinertial training, isoinertial device, isoinertial tool, flywheel training, eccentric overload training, prevention, treatment, sports injuries, musculoskeletal disorders, musculoskeletal complaint. The complete search strategy report is shown in Appendix 1.

### Eligibility Criteria

Inclusion criteria were described in PICOS terminology. This systematic review attempted to select those articles, which described the effects of isoinertial training using a flywheel device (I) vs other interventions (eccentric training, isokinetic training, concentric training, physiotherapy, or placebo) (C), on sports population (P), in the athletic performance (muscle strength, running speed, jump height) or recovery after injury (pain, function, range of motion (ROM)) (O) of the symptoms, number of days of absence per injury, and delayed onset muscle soreness (DOMS)). For this purpose, randomized controlled trials (RCT) and clinical studies (S), written in English, were included. Studies recruiting participants from any setting (general population, primary care, secondary care, university population, and/or sports population) were considered for inclusion. Studies testing general musculoskeletal disorders were included only when data from LLSI were reported separately. No restriction of age, gender and duration of follow-up were applied. Studies analysing healthy athletes were included only when they prospectively evaluated data on lower limb injuries. Studies analysing samples with LLSI due to systemic diseases (such as rheumatoid arthritis, osteoarthritis, fibromyalgia and/or polymyalgia rheumatic) were excluded. Studies based on secondary analysis of datasets from clinical trials, and studies not aiming to evaluate outcomes associated with prevention and/or management, were also excluded.



## Study Selection

All studies identified by the search strategy were screened using the eligibility criteria specified previously. The first stage of assessment involved the screening of titles and abstracts by one reviewer (FGA). Two reviewers (FGA and JMC) undertook the second stage, screening the full text. In cases of disagreement, a decision was made by consensus or, if necessary, a third reviewer (ALS) was consulted.

## Data Extraction

Two independent reviewers (FGA and JMC) extracted the following information from each study: participants, setting/area, outcomes, method of assessment for outcomes, intervention, duration of follow-up and design of the study. If any discrepancies between two reviewers were found, a third reviewer (ALS) was consulted. When necessary, email was sent to authors to provide further information on participants' data.

## Quality Assessment

The methodological quality of included studies was assessed using a checklist based on the PEDro scale.<sup>(26)</sup> The checklist consists of eleven criteria, namely: eligibility criteria specification, random allocation, blinding allocation, similar groups at baseline, blinding subjects, therapists and/or assessors, a follow-up rate greater than 85%, intention to treat, the between-group statistical comparisons are reported for at least one key outcome, point measures and measures of variability for at least one key outcome. FGA and JMC carried out this process and, when any disagreement was found, a third independent reviewer (ALS) was consulted. To assess the overall quality of the evidence per outcome, the Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation (GRADE) approach was used <sup>(27)</sup>. In brief, the GRADE classification was downgraded from high quality by one level for each factor that was encountered: (1) design limitation (>25% of participants from studies with low methodologic quality), (2) inconsistency of results (wide variance of point estimates across studies or large heterogeneity between studies:  $I^2 > 50\%$ ), (3) imprecision (<400 participants for each outcome), and (4) reporting bias. Two reviewers (ALS and FGA) judged whether these factors were present for each outcome. The quality of evidence was defined as (1) high (further research is unlikely to change our confidence in the estimate of effect and there are no known or suspected reporting biases: all domains are fulfilled). (2) Moderate (further research is likely to have an important effect on our confidence in the estimate of effect and might change the estimate: 1 of the domains is not fulfilled). (3) Low (further research is likely to have an important effect on our confidence in the estimate of effect and is likely to change the estimate: 2 of the domains are not fulfilled). (4) Very low (we are uncertain about the estimate: 3 of the domains are not fulfilled) <sup>(28)</sup>.

## Statistical Analysis

For the primary analysis, studies were grouped per outcomes (muscle performance, muscle strength, number of days of absence per injury, running speed, DOMS, ROM, and pain-function). A quantitative meta-analysis was planned to perform whether studies provided a summary measure (odds ratio, relative risk, standardized or weighted mean difference, etc.), with 95% Confidence Interval as precision measure.

When pooling of results would not be possible because of the heterogeneity between studies in terms of participants, outcomes, statistical methods used or duration of follow-up, meta-analysis would not be carried out. In that case, we would provide descriptive quantitative results (the most relevant summary measure with a precision estimate) for each study. For those studies that reported results with several degrees of adjustment for confounders in different models, we would extract the estimate from the model which showed the best adjustment.

Comprehensive Meta-Analysis version 2.2 (Englewood, NJ, USA, 2008), GRADEpro software (29), and Review Manager (RevMan) version 5.3 software were used along the review to process data.

## RESULTS

### Study characteristics

We identified through electronic database 2,346 citations, screening 330 titles and abstracts, and evaluating 48 full-text articles. The number of studies retrieved from each database and the number of studies excluded in each screening phase were recorded (Figure 1).

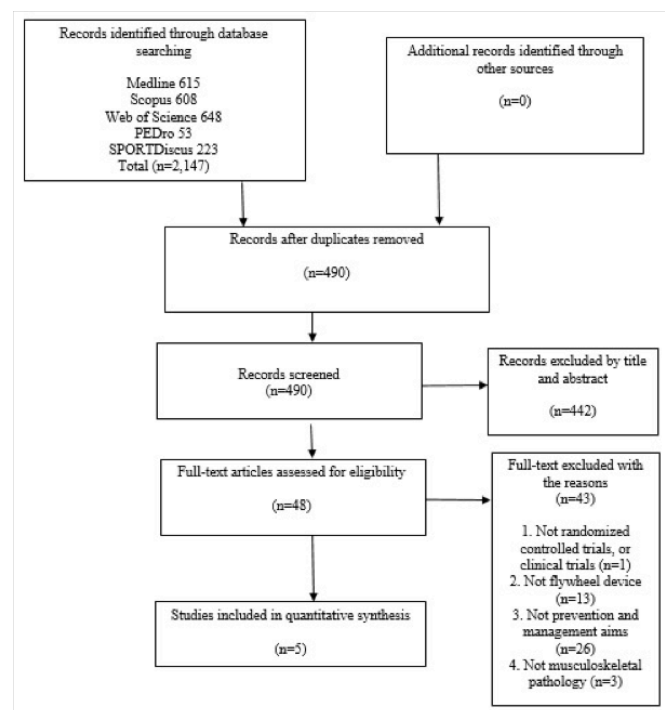


Figure 1. Flow diagram of review process

Of these, 5 experimental studies (158 participants) met our inclusion criteria and were included in this review(23, 30–33). Duration of follow-up ranged from 30 minutes' post-intervention to 2 years. All included studies were published articles. All studies evaluated participants from sport populations(23,30–33).Only one study was conducted with injuredparticipants(31).Definition of outcomes varied across studies,

with the most common being muscle strength(23,30,32), and jump height(23,30,33), followed by pain-function(23,31), number of days of absence per injury (32,33), running speed(32), ROM(32), and DOMS(30). The characteristics of the included studies are reported in Table 1

Study	Participants	Setting/ Area	Outcome	Intervention	Follow-up	Design
Abat et al. 2014 (31)	n=33  Age: 16 ± 53  Pathol- ogy: in- sertional patellar tendi- nopathy	Sports popu- lation / Spain	Pain-Function: The Victorian institute of sport assessment for the patella (tendon (VISA-P) and Tegner scale	Both groups received a weekly session of in- tratissue percutaneous electrolysis (IPE) and 2 weekly session of eccen- tric exercise using isoin- ertial resistance machine (YoYo technology): 3 sets of 10 repetitions. The sample was divided in two groups per the VI- SA-P score	At base- line (t1); at discharge (t2); 3 months (t3); 2 years (t4)	Quasi-ex- perimental study
Askling et al. 2003 (32) whereas the other did not.	n=30  Age: 22 ± 29  Nopa- thology	Sports popu- lation/ Sweden	Muscle strength: Kinet- ic communicator Running speed: flying 30-m-test measured with photocells ROM: flexometer Days of absence per injury: recorded and reported by the respec- tive team physician	Training group: 16 ses- sions of specific ham- string strength training (concentric and eccentric exercise with YoYo fly- wheel ergometer) Control group: same ex- ercises without flywheel ergometer	First 10 weeks (t1); 11-46 weeks (t2)	RCT
De Hoyo et al. 2015 (33)	n=36  Age: 17 ± 19  No pa- thology	Sports popu- lation/ Spain	Muscle performance: Countermovement jump test (CMJ) and 10-m and 20-m sprint test Days of absence per injury: recorded and reported by the respec- tive team physician	Eccentric-overload train- ing group: usual tech- nical/tactical soccer training + concentric-ec- centric training program 1 or 2 times per week during 10 weeks with a flywheel device: 3 × 6 repetitions in weeks 1 to 4, 4 × 6 repetitions in weeks 5 and 6, 5 × 6 rep- etitions in weeks 7 and 8, and 6 × 6 repetitions in weeks 9 and 10. Control group: usual technical/tactical soccer training	1 week before and 1 weeks after in- tervention during 10 weeks.	Controlled non-ran- domized trial

Gual et al 2015 (23)	n=44 Age: 19 ± 30 No pathology	Sports population/ Spain	Pain-Function: VISA-P Jump height: CMJ using a software (Chrono-jump-Boscosystem) Muscle strength: squat power test with YoYo device	Experimental group: regular basket-volleyball exercise routine + eccentric overload squat training with flywheel inertial resistance once a week for 24 weeks Control group: regular basket-volleyball exercise routine	At baseline (t1); 3 months (t2); 6 months (t3)	RCT
Raeder et al 2016 (30)	n=15 Age: 21 ± 25 No pathology	Sports population/ Germany	Muscle performance: CMJ with a contact platform, and Multiple rebound jump test (MRJ) with a contact platform Muscle Strength: Maximal voluntary isometric contraction (MVIC) force test with a multi-trainer 7812-000 and analogous user software and one repetition maximum strength test with a Smith machine DOMS: CR-10 RPE scale	All participants carried out 5 squat exercise: 1. Multiple sets (4x6 r); 2. Drop sets (4x6 r); 3. Eccentric overload (4x6 r); 4. Flywheel training (YoYo) (4x6 r); 5. Plyometric jumps (4x15 r)	At baseline (t1); 30 minutes' post-intervention (t2); 24h post-intervention (t3); 48h post-intervention (t4) Total follow-up: 8 weeks	Quasi-experimental

Table 1. Characteristics of included articles

### Methodological quality

The degree to which studies met the quality criteria varied considerably. The methodological quality assessment of all included studies is presented in figures 2 and 3. All studies specified their inclusion criteria (100%), whereas only two studies conducted random allocation (40%). However, neither study concealed allocation nor blinded participants, therapists, and assessors to the outcome. Three studies had similar groups at baseline (60%).

Four studies had <15% drop out rate (80%), and three studies carried out intention-to-treat analysis (60%). Four studies reported differences between-groups (80%), whereas all studies reported point estimate and variability (100%). Not studies met all criteria. The most common methodological flaws were “concealed allocation” and “blinding participants, therapists, and assessors”.

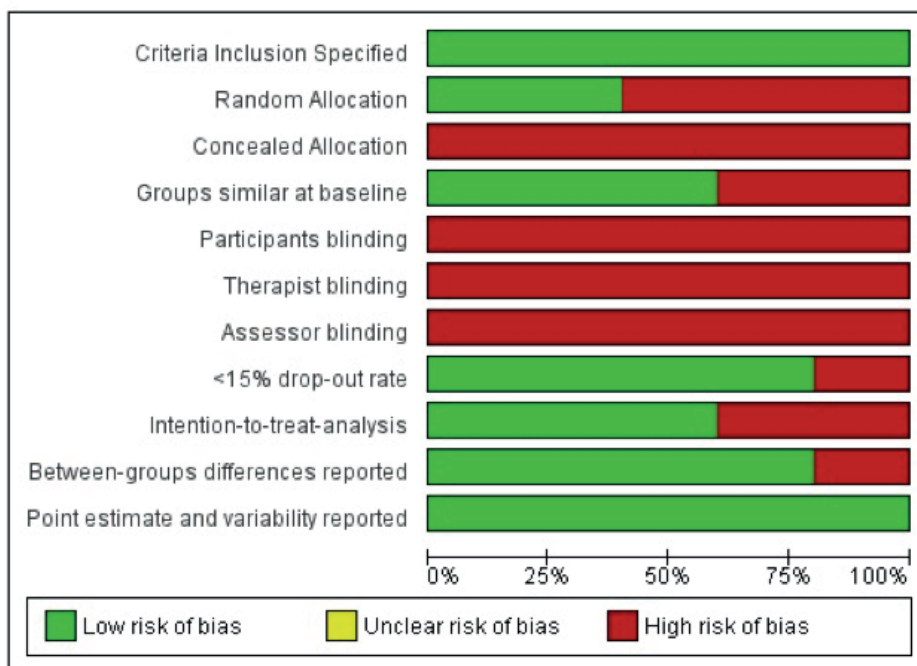


Figure 2. Risk of bias graph: review authors' judgements about each risk of bias item presented as percentages across all included studies.

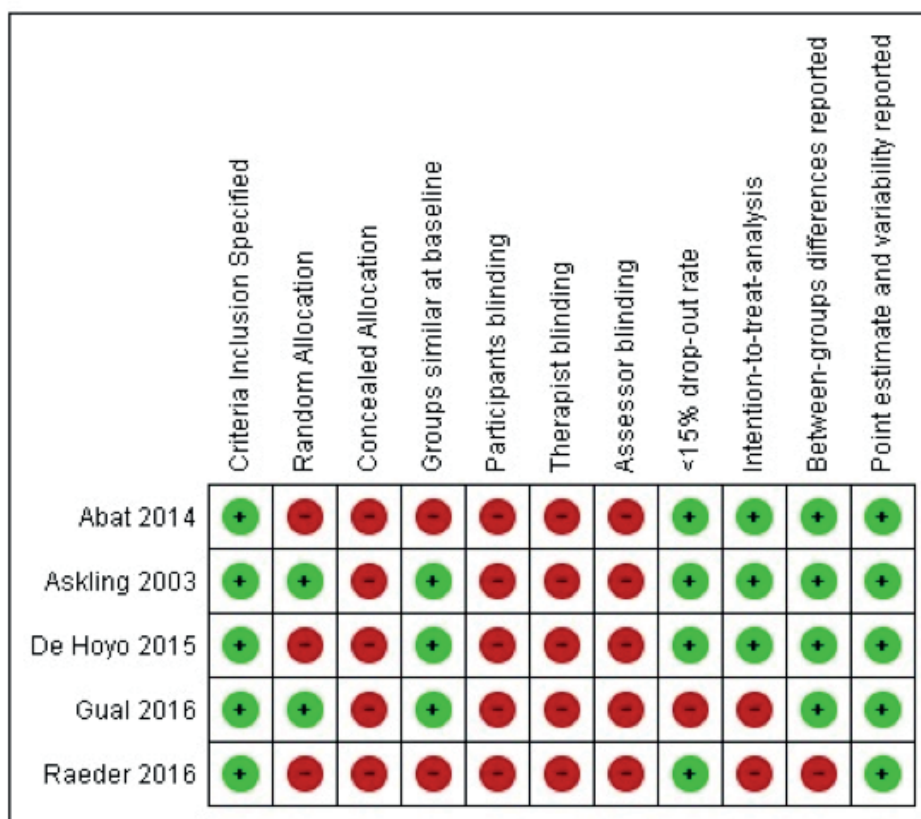


Figure 3. Risk of bias summary: review authors' judgements about each risk of bias item for each included study.

## Effects of isoinertial training on LLSI

The quality of the evidence of the effects of isoinertial training on the prevention and the management of LLSI is summarized in table 2.

Summary of findings				Quality of evidence assessment (GRADE)						
Outcome	Nº Studies	Design	No. of participants	Risk of bias	Inconsistency	Indirectness	Imprecision	Other considerations	Quality	Importance
Isoinertial Training vs Intratissue Percutaneous Electrolysis (IPE)										
Pain-Function	1	Quasi-experimental	33	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Critical
Isoinertial Training vs Concentric and/or eccentric Training										
Muscle strength	3	RCT and quasi-experimental	89	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Critical
Running speed	1	RCT	30	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Important
Muscle performance	3	RCT, Quasi-experimental and controlled non-randomized trial	95	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Critical
Pain-Function	1	RCT	44	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Critical
Days of absence per injury	2	RCT and controlled non-randomized trial	66	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Critical
DOMS	1	Quasi-experimental	15	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	N/A	⊕000 VERY LOW	Important
ROM	1	RCT	30	Very serious <sup>1</sup>	Very serious <sup>2</sup>	Very serious <sup>3</sup>	Very serious <sup>4</sup>	Reported bias <sup>5</sup>	⊕000 VERY LOW	Important

Table 2. Summary of findings and Quality of evidence assessment

1. Sequence generation; Allocation concealment; Random allocation; Blinding, masking. 2. Large variation in effects; confidence intervals do not overlap; I<sup>2</sup> (heterogeneity) is large. 3. Heterogeneity for the sample characteristics, types of interventions and outcome measures. 4. Small sample size; wide confidence intervals. 5. No results about the outcomes.

### Effects of isoinertial training on Pain-Function

The effect of isoinertial training on pain-function was reported in two studies(23,31). One study showed significant improvements on knee pain-function, in 33 patients diagnosed with insertional patellar tendinopathy treated with isoinertial training and electrotherapy. VISA-p values fluctuated between pre-intervention (mean (SD) 50.7 ± 21.6 (range 10-90) to post-intervention: 3 months (Mean (SD) 81.4 ± 12.8 (range 55-100) and 2 years (Mean (SD) 85.7 ± 11.9 (range 60-100) (31). The intervention in the other study (23) did not trigger knee pain after an inertial eccentric overload squat exercise was added to the weekly in-season training routine, and performed over 24 weeks, in volley and basketball players. The VISA-p scores remained steady, ranging from 92.5 to 94.9 in the intervention group, comparing baseline to the end of treatment. The quality of evidence was very low.

### Effects of isoinertial training on jump height and running speed

Three studies evaluated the effect of isoinertial training on jump height and running speed(23,30,33). One study showed significant improvements in the counter movement jump (CMJ) test (cms), between pre-intervention (mean (SD) 35.7 ± 4.1 (33); ) and post-intervention (mean (SD) 38.3 ± 4.2; (33); ). The second study measured the acute effect(30) and showed a significant decrease in CMJ between pre-intervention (Mean (SD) 42.7 ± 3.9 95% IC (40.5-44.9)) and post-intervention of 0.5 hours (Mean (SD) 38.2 ± 2.8 95% IC (36.7-39.4), 24 hours (mean (SD) 39.5 ± 3.7 95% IC (36.6-40.00) and 48 hours (40.1 ± 2.9 95% IC (37.3-42.4). There was a significant improvement on running speed (time to complete 10m and 20m sprints), between pre-intervention (Mean (SD) 1.73 ± 0.12; 3.03 ± 0.14) and post-intervention (1.71 ± 0.08; 2.99 ± 0.12). (33) There was also a decrease in multiple rebound jump (MRJ) height, between pre-intervention (Mean (SD) 1.92 ± 0.26 95% IC (1.77-2.06)) and post-intervention of 0.5 hours (Mean (SD) 1.65 ± 0.33 95% IC (1.47-1.83), 24 hours (Mean (SD) 1.73 ± 0.37 95% IC (1.53-1.94) and 48 hours (1.77 ± 0.32 95% IC (1.60-1.95). (30) In the third study,(23) the CMJ changed in the intervention group (isoinertial training) from 31cm to 32cms. The quality of evidence was very low.

### Effects of isoinertial training on muscle strength

The effect of isoinertial training on muscle strength was reported in three studies(23,30,32). Two studies showed significant improvements on muscle strength. Askling et al.(32) reported increases in peak torque eccentric values between pre-intervention (mean:148, SD:24) to post-intervention (mean:176, SD:22) (32)). Gual et al.,(23) found significant improvements in squat concentric power between pre- and post-intervention (from 308.5W to 497.5 W), and in squat eccentric power (from



309W to 485.6W). On the other hand, one study(30)reported a significant decrease on muscle strength, measured by maximum voluntary isometric contraction (MVIC) (newtons), between pre-intervention (mean (SD) 1,936  $\pm$  313 95% IC (1,755-2,116)) and post-intervention of 0.5 hours (mean (SD) 1,669  $\pm$  313 95%IC (1,488-1,849), 24 hours (mean (SD) 1,839  $\pm$  321 95%IC (1,653-2,024) and 48 hours (1,893  $\pm$  326 95% IC (1,705-2,082). The quality of evidence was very low.

### Effects of isoinertial training on running speed

The effect of isoinertial training on running speed was only reported in one study(32), showing a significant improvement between pre-intervention (mean (SD) 3.36(0.10)) and post-intervention (mean (SD) 3.28(0.09), measured by the “flying 30-m-test”. The quality of evidence was very low.

### Effects of isoinertial training on DOMS

Only one study investigated the effect of isoinertial training on DOMS(30), not finding significant effects ( $p > 0.05$ ). The quality of evidence was very low.

### Effects of isoinertial training on number of days of absence per injury

The number of days of absence per injury was reported in two studies (32,33). One study showed a lower number of injuries ( $n=3$ ) in the group using isoinertial training, as compared to the control group ( $n=10$ ) (32). In the other study (33), the decrement in injury severity was substantially greater (65% (90% CL: 10.1;86.4) with chances for better/similar/lower values of 93/6/2% respectively in the group using isoinertial training than control group. A possibly lower (23.7% (90%CL: -115.0;72.9), 69/27/4%) incidence per 1000 hours of match play was provided in the group using **isoinertial training compared with control group. The quality of evidence was very low.**

## DISCUSSION

### Statement of Principal Findings

The objective of this systematic review was to evaluate the effectiveness of isoinertial training in the prevention and the management of LLSI. The findings demonstrate that isoinertial training, using a flywheel device, produces improvements in the athletic performance (higher jump height, muscle strength, and running speed,), and in the management (lower pain intensity and higher function, and lower number of days of absence per injury) of LLSI. Statistical pooling of results was not possible due to the heterogeneity in participants, interventions, sample size, and methods evaluating outcomes. Although the effects of isoinertial training in the prevention and management of LLSI seems to be promising, the quality of evidence of these findings was very low, and the magnitude of the effects could not be determined.



### Comparison with other studies

To our knowledge, this is the first synthesis of the evidence analysing the effectiveness of isoinertial training in the prevention and the management of LLSI. Previous systematic reviews have investigated the effects of eccentric overload training in several musculoskeletal disorders(34,35).Kingma et al, (34)evaluated the effectiveness of eccentric overload training in patients with chronic Achilles tendinopathy.Reported results showed a decrease in pain intensity in patients with chronic Achilles tendinopathy, even though effects of function and sports participation might not be established. Nicastro et al, (35) analysed the effects of resistance exercise on the functional and structural parameters of non-hereditary and non-inflammatory skeletal muscle atrophic conditions. In this review, four studies examined the effects of resistance exercise using a flywheel, showing that the use of flywheel resistance exercises may be effective in the preservation or restoration of function (strength and power), and morphology (hypertrophy and phenotypic changes) of skeletal muscle, when compared with control group (no treatment). Nevertheless, the precise volume, intensity frequency and rest intervals of flywheel resistance exercise protocols on atrophic conditions is unknown. These results are in accordance with the findings obtained in this review.

Therefore, based on the collective evidence from this and previous reviews (34,35), the concept “isoinertial-eccentric overload training”, using or not a flywheel device, may be a good therapeutic strategy in the prevention and management of sport and non-sport injuries. Nevertheless, all the included studies in the present systematic review have used a training-therapeutic modelcontaining isoinertial training, as well as co-interventions, such as IPE, aerobic exercise, concentric exercise, and/or different modalities of eccentric exercise. In all these studies, the effect of isoinertial training on all outcomes measured could be contaminated by the co-interventions. Therefore, results of this systematic review should be taken with caution.

### Strengths and weaknesses of the study

The strengths of this review included the use of a pre-specified protocol registered on PROSPERO, the use of GRADE system to evaluate the overall quality of the evidence, and the use of PEDro scale to determine the quality of each study. All the procedures used for conducting this review were in accordance with current guidelines(36).The limitations associated with this study must be acknowledged when interpreting the results. Firstly, despite this review being comprehensive with a robust search strategy, using a variety of MeSH terms, only electronic search databases were consulted, raising thepossibility that not all studies were identified. Furthermore, as aforementioned, all the included studies used a training modelcontaining isoinertial training as well as co-interventions, increasing the risk of contamination of the evidence. Moreover, the total sample size and overall quality of evidence is very low, preventing any firm conclusions. Another limitation of this study could be the possibility of reporting bias, as non-significant findings are less likely to be published (37).

### Clinical implications of study findings

This systematic review presents a comprehensive insight in the most up-to-date evidence supporting the use of isoinertial training in LLSI, exploring traditional targets and possible emerging fields of application. Despite the amount and quality of the existing evidence limiting the conclusions of this review, clinicians and medical sports staff should be encouraged to apply isoinertial training, not only in sports population, but also in general population, as this approach might improve preventive and therapeutic procedures related to many parameters, such as pain, function, jump height, running speed and/or muscle strength, which are associated with a vast variety of musculoskeletal disorders affecting both athlete and non-athlete populations.

### Future Research

Further studies analysing the effects of isoinertial training without co-intervention, with greater sample size, using similar instruments to assess outcome measures, with a follow-up period of, at least, 3 months, are needed. Studies evaluating the effects of isoinertial training in injuries related to upper limbs, such as rotator cuff tendinopathy, lateral epicondylitis and/or subacromial syndrome, are also needed. Even though the effect caused by isoinertial training in the prevention and the management of LLSI appears to be relevant, further research evaluating the potential adverse effects of this method in general population are also required.

### Conclusions

This systematic review provided information about the effectiveness of isoinertial training in the prevention and the management of LLSI. The available evidence suggests that isoinertial training using a flywheel device is a good method to produce improvements in the prevention and sports performance (higher jump height, muscle strength, and running speed), and the management (lower pain intensity, higher function and lower number of days of absence per injury) of LLSI. Nevertheless, the quality of evidence was very low and further research is needed.

## REFERENCES

1. Zuckerman SL, Wegner AM, Roos KG, Djoko A, Dompier TP KZ. Injuries sustained in National Collegiate Athletic Association men's and women's basketball, 2009/2010-2014/2015. *Br J Sport Med*. 2016;[Epub ahea.
2. Roos KG, Wasserman EB, Dalton SL, Gray A, Djoko A, Dompier TP KZ. Epidemiology of 3825 injuries sustained in six seasons of National Collegiate Athletic Association men's and women's soccer (2009/2010-2014/2015). *Br J Sport Med*. 2016;[Epub ahea.
3. Osorio Ciro JA, Clavijo Rodríguez MP, Arango V. E, Patiño Giraldo S GCI. Lesiones deportivas. *latreia*. 2007;20(2):167–77.
4. Fuller CW, Ekstrand J, Junge A, Andersen TE, Bahr R, Dvorak J, Häggglund M, McCrory P MW. Consensus statement on injury definitions and data collection procedures in studies of football (soccer) injuries. *Scand J Med Sci Sport*. 2006;16(2):83–92.
5. Noya Salces J, Gómez-Carmona PM, Gracia-Marco L, Moliner-Urdiales D SQM. Epidemiology of injuries in First Division Spanish football. *J Sport Sci*. 2014;32(13):1263–70.
6. Moreno Pascual C RP V. Epidemiología de las lesiones deportivas. *Fisioterapia*. 2008;30(1):40–8.
7. Chamorro G, Cesteros P SL. Epidemiología de las lesiones deportivas atendidas en urgencias. *Emergencias*. 2009;21:5–11.
8. Lorenz D, Reiman M. The role and implementation of eccentric training in athletic rehabilitation: tendinopathy, hamstring strains, and acl reconstruction. *Int J Sports Phys Ther* [Internet]. 2011;6(1):27–44. Available from: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3105370&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
9. Sharma P, Maffulli N. Biology of tendon injury: Healing, modeling and remodeling. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2006;6(2):181–90.
10. Brughelli ME, Cronin JB. Preventing hamstring injuries in sport. *Strength Cond J* [Internet]. 2008;30(1):55. Available from: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2780252&info=resumen&idioma=ENG%5Cnhttp://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-67649950949&partnerID=tZOtx3y1>
11. Cook JL, Rio E, Purdam CR DS. Revisiting the continuum model of tendon pathology: what is its merit in clinical practice and research? *Br J Sport Med*. 2016;[Epub ahea.
12. Malliaras P, Barton CJ, Reeves ND LH. Achilles and patellar tendinopathy loading programmes : a systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sport Med*. 2013;43(4):267–86.
13. Rowe V, Hemmings S, Barton C, Malliaras P, Maffulli N MD. Conservative management of midportion Achilles tendinopathy: a mixed methods study, integrating systematic review and clinical reasoning. *Sport Med*. 2012;42(11):941–67.
14. Littlewood C, Malliaras P C-LK. Therapeutic exercise for rotator cuff tendinopathy: a systematic review of contextual factors and prescription parameters. *Int J Rehabil Res*. 2015;38(2):95–106.

15. Kountouris A CJ. Rehabilitation of Achilles and patellar tendinopathies. *Best Pr Res Clin Rheumatol*. 2007;21(2):295–316.
16. Camargo PR, Albuquerque-Sendín F ST. Eccentric training as a new approach for rotator cuff tendinopathy: Review and perspectives. *World J Orthop*. 2014;5(5):634–44.
17. Frizziero A, Trainito S, Oliva F, Nicoli Aldini N, Masiero S MN. The role of eccentric exercise in sport injuries rehabilitation. *Br Med Bull*. 2014;110(1):47–75.
18. Silbernagel KG CK. A Proposed Return-to-Sport Program for Patients With Midportion Achilles Tendinopathy: Rationale and Implementation. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2015;45(11):876–86.
19. Silbernagel KG, Thomeé R, Thomeé P KJ. Eccentric overload training for patients with chronic Achilles tendon pain--a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sport*. 2001;11(4):197–206.
20. Stasinopoulos D MP. Comparing two eccentric exercise programmes for the management of Achilles tendinopathy. A pilot trial. *J Bodyw Mov Ther*. 2013;17(3):309–15.
21. Norrbrand L, Pozzo M TP. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(5):997–1005.
22. Tous-Fajardo J, Maldonado RA, Quintana JM, Pozzo M TP. The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *Int J Sport Physiol Perform*. 2006;1(3):293–8.
23. Gual G, Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodríguez D TP. Effects of In-Season Inertial Resistance Training With Eccentric Overload in a Sports Population at Risk for Patellar Tendinopathy. *J Strength Cond Res*. 2016;30(7):1834–42.
24. Romero-Rodríguez D, Gual G TP. Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Phys Ther Sport*. 2011;12(1):43–8.
25. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JP, Clarke M, Devereaux PJ, Kleijnen J MD. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol*. 2009;62:e1-34.
26. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Phys Ther*. 2003;83(8):713–21.
27. Atkins D, Best D, Briss PA, Eccles M, Falck-Ytter Y, Flottorp S, Guyatt GH, Harbour RT, Haugh MC, Henry D, Hill S, Jaeschke R, Leng G, Liberati A, Magrini N, Mason J, Middleton P, Mrukowicz J, O'Connell D, Oxman AD, Phillips B, Schünemann HJ, Edejer T, Va ZS, Gradew G. GRADE Working Group. Grading quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2004;328:1490.
28. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P SHGWG. GRADE Working Group. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2008;336:924–6.

29. Schünemann HJ BJ. GRADEpro Guideline Development Tool. Hamilton, Canada, McMaster University; 2015.
30. Raeder C, Wiewelhove T, Westphal-Martinez MP, Fernandez-Fernandez J, de Paula Simola RA, Kellmann M, Meyer T, Pfeiffer M FA. Neuromuscular Fatigue and Physiological Responses After Five Dynamic Squat Exercise Protocols. *J Strength Cond Res.* 2016;30(4):953–65.
31. Abat F, Gelber P, Monllau J. Effectiveness of the Intratissue Percutaneous Electrolysis ( EPI ® ) technique and isoinertial eccentric exercise in the treatment of patellar tendinopathy at two years follow-up. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2014;4(2):188–93.
32. Askling C, Karlsson J, Thorstensson a. Hamstring injury occurrence in elite soccer players after preseason strength training with eccentric overload. *Scand J Med Sci Sport [Internet].* 2003;13(4):244–50. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12859607>
33. de Hoyo M, Pozzo M, Sanudo B, Carrasco L, Gonzalo-Skok O, Dominguez-Cobo S, et al. Effects of a 10-week In-Season Eccentric Overload Training Program on Muscle Injury Prevention and Performance in Junior Elite Soccer Players. *Int J Sport Physiol Perform.* 2014;10(1):46–52.
34. Kingma JJ, de Knikker R, Wittink HM, Takken T. Eccentric overload training in patients with chronic Achilles tendinopathy: a systematic review. *Br J Sports Med.* 2007;41(6):e3.
35. Nicastro H, Zanchi NE, Luz CR da, Lancha AH. Functional and morphological effects of resistance exercise on disuse-induced skeletal muscle atrophy. *Braz J Med Biol Res [Internet].* 2011;44(11):1070–193. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21952737>
36. Stroup DF, Berlin JA, Morton SC, Olkin I, Williamson GD, Rennie D, Moher D, Becker BJ, Sipe TA TS. Meta-analysis of observational studies in epidemiology: a proposal for reporting. Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) group. *JAMA.* 2000;283:2008–12.
37. Peters JL, Sutton AJ, Jones DR, Abrams KR RL. Performance of the trim and fill method in the presence of publication bias and between-study heterogeneity. *Stat Med.* 2007;26:4544–62.

## Appendix 1. Search Strategy

1. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial). ti,ab; 679
2. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training). ti,ab; 257
3. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND sports medicine). ti,ab; 29
4. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND treatment). ti,ab; 52
5. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND prevention). ti,ab; 7
6. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND return to sport). ti,ab; 4
7. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND therapeutics). ti,ab; 23
8. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND sports injuries). ti,ab; 15
9. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND tendon injuries). ti,ab; 0
10. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND musculoskeletal complaint). ti,ab; 0
11. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND tendinopathy). ti,ab; 0
12. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus and PEDro; (isoinertial training AND musculoskeletal pain). ti,ab; 6
13. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial training AND musculoskeletal disorders). ti,ab; 3
14. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, PEDro; (isoinertial training AND musculoskeletal diseases). ti,ab; 3
15. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device). ti,ab; 61
16. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND sports medicine). ti,ab; 6
17. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND treatment). ti,ab; 14
18. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND prevention). ti,ab; 2
18. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND return to sport). ti,ab; 0



19. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND therapeutics). ti,ab; 2
20. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND sports injuries). ti,ab; 4
21. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND tendon injuries). ti,ab; 1
22. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND musculoskeletal complaint). ti,ab; 0
23. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND tendinopathy). ti,ab; 0
24. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND musculoskeletal pain). ti,ab; 3
25. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND musculoskeletal disorders). ti,ab; 3
26. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial device AND musculoskeletal diseases). ti,ab; 2
27. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool). ti,ab; 16
28. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND sports medicine). ti,ab; 3
29. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus and PEDro; (isoinertial tool AND treatment). ti,ab; 2
30. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND prevention). ti,ab; 0
31. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND return to sport). ti,ab; 0
32. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND therapeutics). ti,ab; 0
33. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND sports injuries). ti,ab; 3
34. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND tendon injuries). ti,ab; 0
35. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND musculoskeletal complaint). ti,ab; 0
36. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND tendinopathy). ti,ab; 0
37. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND musculoskeletal pain). ti,ab; 0
38. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND musculoskeletal disorders). ti,ab; 1

39. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (isoinertial tool AND musculoskeletal diseases). ti,ab; 1
40. Medline, Scopus, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training). ti,ab; 187
41. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND sports medicine). ti,ab; 20
42. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND treatment). ti,ab; 39
43. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND prevention). ti,ab; 24
44. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND return to sport). ti,ab; 1
45. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND therapeutics). ti,ab; 28
46. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND sports injuries). ti,ab; 7
47. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND tendon injuries). ti,ab; 8
48. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND musculoskeletal complaint). ti,ab; 0
49. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND tendinopathy). ti,ab; 9
50. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND musculoskeletal pain). ti,ab; 1
51. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND musculoskeletal disorders). ti,ab; 1
52. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (flywheel training AND musculoskeletal diseases). ti,ab; 2
53. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training). ti,ab; 266
54. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND sports medicine). ti,ab; 50
55. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND treatment). ti,ab; 72
56. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND prevention). ti,ab; 38
57. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND return to sport). ti,ab; 13
58. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND therapeutics). ti,ab; 24



59. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND sports injuries). ti,ab; 60
60. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND tendon injuries). ti,ab; 36
61. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND musculoskeletal complaint). ti,ab; 2
62. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND tendinopathy). ti,ab; 36
63. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND musculoskeletal pain). ti,ab; 10
64. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND musculoskeletal disorders). ti,ab; 6
65. Medline, Scopus, Web of Science, SPORTDiscus, and PEDro; (eccentric overload training AND musculoskeletal diseases). ti,ab; 5

## PUBLICACIÓN 2: STUDY PROTOCOL

“The effects of isoinertial training on rotator cuff tendinopathy: study protocol for a randomized controlled single-blind follow-up trial.”

### INTRODUCTION

Rotator cuff tendinopathy (RCT) is recognized as a common and burdensome source of shoulder pain, with prevalence estimated to be as high as 14% in general working-age population(1,2). RCT is a broad entity, including a vast variety of diagnosis such as shoulder impingement syndrome, RC tendinitis/tendinosis, as well as subacromial bursitis(3). The course of RCT is characterised by persistent pain, and/or disability, and/or recurrent episodes(4). It often leads to decrease function(5), lower health-related quality of life(5), poor sleep quality(6), work absenteeism(7), as well as patient's suffering.

Conservative treatment of RCT generally includes rest, ice/heat therapy, non-steroidal anti-inflammatory drugs, and rehabilitation interventions such as soft tissue massage, manual therapy, exercise therapy, kinesiotaping, electrotherapy, dry needling and/or acupuncture with the aim to reduce pain intensity and restore the ROM of the shoulder(8–11). Previous studies support the use of exercise as an adequate treatment in RCT(12,13), suggesting that progressive loading programmes may be a key component of treatment(13). Inside of exercise therapy, eccentric exercise has been proposed as an effective therapeutic strategy to improve pain and function in Achilles and patellar tendinopathies(14), and such exercises for chronic tendinopathy are often considered to be the first line of treatment(15,16). Despite eccentric exercise seems to improve pain intensity, function(17,18), and muscle strength(19) in people with RCT, less evidence exists about its effectiveness in this condition(20).

Currently, isoinertial training, using a flywheel device, has emerged as a method that uses an overload eccentric training. Flywheel device permits accelerate or decelerate a flywheel instead of lifting a weight against gravity(21). Some evidence has shown good results in the use of flywheel training in increasing strength, speed, and endurance in many different athletes(21,22). Even also, this device seems to be a good method to improve pain and disability in some musculoskeletal disorders(23,24). Nevertheless, to our knowledge, there is no studies evaluating the effects of isoinertial training in RCT. Therefore, the aim of this study will be to evaluate the effectiveness of isoinertial training vs traditional exercise on pain and function, in the management of participants with RCT. The secondary aim of this study will be examine the shoulder muscle strength, scapular muscle activity, and scapular muscle endurance during the execution of the exercise protocols.

## METHODS

### Approvals and disclosures

Before any study-related activities, the investigation, and its supporting documents (protocol, informed consent form, investigator brochure, and recruitment materials) will be reviewed and approved by Ethics Committee of the University of Malaga (CEUMA), Spain. The requisite information will be, then, listed on Clinical Trials.gov (NCT02982460). The study will be conducted per the Declaration of Helsinki.

### Study design and setting

The design of the present study will be a randomized controlled single-blind trial, with 2 follow-up times (one week and one month after intervention), that will be performed between January 2017 and June 2017 in one private physiotherapy clinic in Malaga, Spain. The outcomes will be assessed at baseline (t1), one week after intervention (t2), and one month after intervention (t3). Written informed consent will be acquired for all participants prior to their inclusion in this study. The study will be implemented and reported in line with the SPIRIT statement.

### Participants

A consecutive sample of 96 participants with RCT will be recruited. The principal investigator (FGA) will carry out the recruitment, and the assessment of participants for eligibility. If participants will satisfy the inclusion criteria, they will be invited to participate in this study and then, they will be evaluated at baseline, one week and one month after intervention.

Patients with the following inclusion criteria will be enrolled to the study: i) athletes involved in overhead sport activities, with age between 18-35 years; (ii) willing and able to participate; (iii) primary complaint of shoulder pain; (iv) no/minimal resting for shoulder pain; (v) range of shoulder movement largely preserved; (vi) two out of three positive impingement tests: empty-can test, Hawkins–Kennedy test, modified Neer test; (vii) pain on isometric rotator cuff testing, usually abduction or lateral rotation. Exclusion criteria will be: (i) subjective feeling of instability and positive apprehension sign; (ii) positive scapular assistance and/or resistance test; (iii) partial or full tears of the rotator cuff, assessed by ultrasonography and/or clinical tests; (iv) calcifications greater than 4 mm, assessed by ultrasound imaging; (v) history of shoulder fracture and/or shoulder surgery; (vi) glenohumeral disorders (inflammatory arthritis, osteoarthritis, osteonecrosis, cuff arthropathy, septic arthritis, adhesive capsulitis); (vii) regional disorders (cervical radiculopathy, brachial neuritis, nerve entrapment syndrome, sternoclavicular arthritis, reflex sympathetic dystrophy, and neoplasms); (viii) systemic diseases; (ix) corticosteroid injection 3 months prior to the study treatment and within 1 months prior to the study treatment on other body parts.

## Recruitment

Eligible participants who will be interested in the study will be asked to provide written informed consent to participate. Subsequently the patient-reported outcome (PRO) measures will be completed to establish baseline levels of pain, function, shoulder muscle strength, scapular muscle activity, and scapular muscle endurance. Assessment of pain, function, shoulder muscle strength, scapular muscle activity, and scapular muscle endurance will be repeated one week and one month after intervention. Potential prognostic factors will be measured through self-reported questionnaires at baseline, one week, and one month after intervention. Anonymized age and gender will be collected for those participants who decline to take part in the study, to assess the external validity of the recruited sample of participants. Participant data files will be stored in numerical order, and in a secure and accessible place and manner.

## Intervention

Participants will be split in two groups: isoinertial training (experimental group (EG)), and exercise (control group (CG)). Participants will be attended three appointments per week, over three weeks. They will complete 3 sets of 10 repetitions, with the exercises progressed in difficulty at each appointment. Symptomatic response will guide exercise prescription, requiring that pain that could be produced during exercise must be remained no worse upon cessation of that exercise(25).

In addition, all participants will be taught stretching exercises for the pectoralis minor, shoulder external rotators and posterior shoulder capsule(26). Participants will be instructed to hold each stretch for 15 seconds and perform three repetitions, twice per day. All the sessions will be supervised for each participant by the same physiotherapist, who will be a 15-years experienced. Participants will be allowed to rest for two minutes between sets. During each exercise, the physiotherapist will give verbal encouragement and, if necessary, performance corrections.

## Experimental group

The isoinertial training will be based on 3 sets of 10 maximal voluntary contraction repetitions, using a VersaPulley® (VersaPulley; Heart Rate Inc., Costa Mesa, CA). This exercise device uses the inertia of a spinning flywheel (moment inertia = 0.11 kg m<sup>2</sup>), offering resistance during coupled concentric and eccentric actions, allowing for high demanding for shoulder muscles, while offering the possibility to perform with an eccentric overload(27–29). Two initial repetitions in any set will be aimed at accelerating the flywheel, before executing the subsequent 8 actions at maximal effort. The concentric phase will be executed. Then, the flywheel will rewind by the inertial force to initiate a reversed eccentric action. Participants will be instructed to resist gently during the first two thirds of the eccentric action and then apply maximal force to bring the flywheel to a stop, to achieve eccentric overload in the last third of every eccentric action. Recovery between sets will be of 2 minutes. The principal investigator (FGA) will ensure the compliance and optimal performance of the training

program. There will be a rest period between isoinertial sessions of 48 hours. The strengthening exercises will be as follows: a) shoulder flexion; b) shoulder extension; c) horizontal abduction with external rotation; d) shoulder external rotation at 45° of abduction in side-lying; e) standing wall push up exercise (without using the flywheel system). All exercises, except for the exercise performed in side-lying, will be performed bilaterally. Exercises “a”, “b” and “c” will be performed in supine in order to minimize activation of the upper trapezius muscle, which is known to be altered in people with abnormal scapular kinematics and shoulder pain(30,31). These exercises have been found to be effective (32).

### Control Group

Five strengthening exercises will be completed each day over ten sessions (once per day) for the affected shoulder. The strengthening exercises will be carried out using a color-coded elastic resistance bands (TheraBand; The Hygenic Corporation, Akron, OH) at three progressive levels of resistance, as indicated by the color of the band (red, green, or blue). 3 sets of 10 repetitions will be performed for each exercise. If the exercises will not elicit any muscle soreness the following day, an elastic band of higher resistance will be selected. The set of exercises will be the same as used in the intervention group.

### Outcome Measures

#### Primary Outcome

1. Pain and function: the Shoulder Pain and Disability Index (SPADI)(33) is a self-administered questionnaire, that consists of two dimensions: one for pain and the other for functional activities. SPADI total score ranges between 0 to 100, with 0=best and 100=worst. The SPADI has shown good internal consistency with a Cronbach's alpha of 0.95 for the total score, 0.92 for the pain subscale and 0.93 for the disability subscale as well as the ability to detect change over time (34). A cross-cultural validated version will be used (35).

#### Secondary Outcomes

1. Shoulder muscles strength tests: the hand hold dynamometer (HHD) (The Commander™ Muscle Tester, J-Tech, USA), will be used to measure the following shoulder muscles strength: lateral rotator muscles(36), anterior serratus, upper and lower trapezius (37). Measurements will be expressed in Newtons (N). HHD has shown a good feasibility and validity to measure strength in shoulder muscles(38).
2. Scapular muscle activity: surface electromyography (EMG; NEUROTRAC, Myoplus 2, Verity Medical Ltd., UK) will be used to measure muscle activity.

#### Electrode placement

Upper trapezius: the electrode will be placed between the spinous process of the

seventh cervical vertebra and the posterior tip of the acromion process along the line of the trapezius muscle(39).

Lower trapezius: for the lower part of the trapezius muscle, the electrodes will be placed obliquely upward and laterally along a line between the intersection of the spine of the scapula with the vertebral border of the scapula and the seventh thoracic spinous process(39).

After placement of the electrodes on lower and upper trapezius, the participant will be encouraged to raise the affected shoulder in a scaption movement, in the full range of movement. Electromyographic activity for both muscles will be recorded. The mean values for both muscles will be calculated after 5 trials. When the final measurements will be taken, a ratio between upper trapezius/lower trapezius will be calculated.

3. Scapular muscle endurance: endurance of the trapezius and serratus anterior muscles will be assessed using the scapular muscle endurance (SME) test. For this test, the participants will stand against the wall with their shoulders and elbows flexed to 90°. There will be no contact between the participant's arms and the wall. The participants then will hold a digital dynamometer between their hands and an adjustable spacer between their elbows to maintain the test position. The scapulae will be neutrally positioned. The subject will be then asked to externally rotate the shoulders to attain a 1-kg load and to maintain this force, which will be displayed on the dynamometer. The end-point of the test will be when the subject will be unable to maintain the resistance and will drop the adjustable spacer, failing to maintain 90° of shoulder flexion, or reporting an unacceptable increase in discomfort(40,41).

### Predictive variables

1. Self-efficacy: Pain Self-Efficacy Questionnaire (PSEQ) contains 10 questions that will measure the patient's confidence in performing certain activities despite pain. Items will be scored on a scale from 0 to 6, with a maximum possible score of 60 points. Lower scores indicate less self-efficacy(42).

2. Gender and age: self-administrated questionnaire will collect Information of gender and age.

3. Educational level will be coded into five educational levels: group 1: university/college ≥4 years; group 2: university/college 4 years; group 3: upper secondary; group 4: incomplete upper secondary; group 5: elementary secondary. (43)

4. Current treatment will be evaluated through a checklist divided in 5 groups (no treatment, pharmacological treatment, injections, physical therapy, and other treatments (massage, reflexology, acupuncture)).

5. Current/most recent job title and nature of work, work status (unemployed/active/sick leave/ retirement) will be collected by self-administered questionnaire.

The summary of outcome measures will be presented in table 1.

Outcome Measure	Instrument/test	Staff Member	Baseline (T1)	1 Week (T2)	1 month (T3)
Pain and Function	SPADI	Interviewer	X	X	X
Shoulder Muscle Strength	HHD	Interviewer	X	X	X
Scapular Muscle Activity	EMG	Interviewer	X	X	X
Scapular Muscle Endurance	SME	Interviewer	X	X	X
Predictive variables					
What modality of treatment? (Pharmacological/Physical therapy/Injections/No treatment/Other treatments)	Self-questionnaire	Interviewer	X	X	X
Self-efficacy	PSEQ	Interviewer	X	X	X
Current/most recent job title and nature of work	Self-questionnaire	Interviewer	X	X	X

Table 1. Overview of measurement instruments and time of assessment

### Randomization and blinding

An independent statistician will perform randomization beforehand using a computer-generated randomization table. Equal numbers of the two treatment groups will be then concealed in opaque envelopes. After inclusion and baseline assessment by the principal investigator (FGA), an independent investigator blinded to the treatment will choose an envelope to randomly allocate the participants to one of the two treatment groups. As the patients, could not be blinded for the treatment, they will be expressly asked not to tell the assessor in which group they will be treated. The patients will be examined by one physiotherapist (assessor) who will receive a training of 5 hours in the assessment of all outcome measures. This assessor will be blinded by the purpose of the study, and for the treatments assigned. A blinded statistician will perform analysis of data.

### Sample size calculation

To calculate the effect size, SPADI-scores changes before and after interventions will be used. The G\*power 3 software will be used for this calculation.

Assuming that differences between baseline and post intervention values of SPADI in the best treatment option would be of 15 points, and taking into account that the standard deviation most likely will be around 11 (19), sample size calculations will indicate that the power to detect these minimum differences on SPADI in a sample of 96 subjects (allocated proportionally among the two groups) would be of 80% for an alpha of 5% and a drop-out rate of 5%.



### Statistical Analysis

The Statistical Package for the Social Sciences will be used for the data analysis (version 23.0 for Mac; SPSS Inc. Chicago, IL). Normality of the variables will be visually tested for a Gaussian distribution and additionally tested with a 1-sample Kolmogorov-Smirnov goodness-of-fit test. To calculate intra-groups, mean differences for all the outcomes, at baseline, after treatment and one month later, a three-way Repeated-Measures ANOVA (Time x Group) will be run, with the scores of every variable as a dependent factor, with 3 levels corresponding to every measurement period (t1, t2 and t3), and the group as an independent factor with 2 levels (Intervention group and control group). A p-value  $>0.05$  will be considered statistically significant. If normality of any outcome will be violated, a Brown-Forsythe test will be calculated. Levene test will be used to test the homogeneity of variances. If the data will meet the assumption of homogeneity of variances, Bonferroni post-hoc test will be calculated. If homogeneity of variances will be violated, a Games-Howell post-hoc test will be determined.

### Data collection and management

To ensure accurate, complete, and reliable data, all study-related information will be stored securely at the study site. All participant information will be stored in locked file cabinets in areas with limited access. A coded ID number will identify reports, data collection, process, and administrative forms only to maintain participant confidentiality.

### Modification of the Protocol

Any modifications to the protocol that may affect the conduct of the study, potential benefit of the patient or may affect patient safety, including changes of study objectives, study design, patient population, sample sizes, study procedures, or significant administrative aspects will require a formal amendment to the protocol.

Such amendment will be agreed upon this research group, and approved by The Ethics Committee of the University of Malaga, Spain, prior to implementation and notified to the health authorities in accordance with local regulations.

### Informed Consent

All the authors declare to have no conflict of interests.

### Dissemination

The results of the study will be disseminated at several research conferences and as published articles in peer-reviewed journals.



## DISCUSSION

The present study will be the first randomized controlled trial evaluating the effects of isoinertial training on RCT. Inside of a vast variety of conservative treatments with the aim of diminishing pain intensity, and disability on shoulder complaints, exercise therapy seems to be a good therapeutic strategy to achieve these goals. Thus, obtaining more knowledge about whether isoinertial training produce good results in this population might be of great value to establish new treatment strategies that could avoid the shoulder chronicity.

### Current study status

The recruiting patients will begin in January 2017.

### Author's Contribution

ALS conceived the study. ALS and FGA initiated the study design and JMC helped with the final version of this study. ALS provided statistical expertise in randomized controlled trial design. All authors contributed to the refinement of the pilot study and approved the final manuscript.

### Funding statement

This study is supported by University of Malaga, Spain. The funding source has no role in study design, in data collection, analysis, and interpretation, in the writing of the report, or in the decision to submit the paper for publication.

### Competing Interest Statement

None authors have any conflicts of interest to declare.

Ethics Approval: The Ethics Committee of the University of Malaga, Spain, will approve this protocol.

## REFERENCES

1. Tekavec E, Jöud A, Rittner R, Mikoczy Z, Nordander C, Petersson IF EM. Population-based consultation patterns in patients with shoulder pain diagnoses. *BMC Musculoskelet Disord*. 2012;13:238.
2. Littlewood, C., May, S. and Walters S. Epidemiology of rotator cuff tendinopathy: a systematic review. *Shoulder Elb*. 2013;5:256–265.
3. Hanchard, N. C., Goodchild, L., Thompson, J., O'Brien, T., Davison, D., & Richardson C. Evidence-based clinical guidelines for the diagnosis, assessment and physiotherapy management of contracted (frozen) shoulder: quick reference summary. *Physiotherapy*. 2012;98(2):117–20.
4. Chard M, Sattelle L HB. The long-term outcome of rotatorcuff tendinitis – a review study. *Br J Rheumatol*. 1988;27:385–9.
5. MacDermid JC, Ramos J, Drosdowech D, Faber K PS. The impact of rotator cuff pathology on isometric and isokinetic strength, function, and quality of life. *J Shoulder Elb Surg*. 2004;13(6):593–8.
6. Tekeoglu I, Ediz L, Hiz O, Toprak M, Yazmalar L KG. The relationship between shoulder impingement syndrome and sleep quality. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2013;17(3):370–4.
7. Østerås H, Arild Torstensen T, Arntzen G SØB. A comparison of work absence periods and the associated costs for two different modes of exercise therapies for patients with longstanding subacromial pain. *J Med Econ*. 2008;11(3):371–81.
8. Green S, Buchbinder R HS. Physiotherapy interventions for shoulder pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 2003;2:CD004258.
9. Gerber LH, Shah J, Rosenberger W, Armstrong K, Turo D, Otto P, Heimur J, Thaker N SS. Dry Needling Alters Trigger Points in the Upper Trapezius Muscle and Reduces Pain in Subjects With Chronic Myofascial Pain. *PM&R*. 2015;7:711–8.
10. Kaya DO, Baltaci G, Toprak U AA. The Clinical and Sonographic Effects of Kinesiotaping and Exercise in Comparison With Manual Therapy and Exercise for Patients With Subacromial Impingement Syndrome: A Preliminary Trial. *J Manip Physiol Ther*. 2014;37:422–32.
11. Desjardins-Charbonneau A, Roy JS, Dionne CE, Frémont P, MacDermid JC DF. The efficacy of manual therapy for rotator cuff tendinopathy: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Sport Phys Ther*. 2015;45(5):330–50.
12. Hanratty CE, McVeigh JG, Kerr DP, Basford JR, Finch MB, Pendleton A SJ. The Effectiveness of Physiotherapy Exercises in Subacromial Impingement Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Semin Arthritis Rheum*. 2012;42:297–316.
13. Littlewood C, Ashton J, Chance-Larsen K, May S and Sturrock B. Exercise for rotator cuff tendinopathy: a systematic review. *Physiotherapy*. 2012;98:101–9.
14. Malliaras P, Barton CJ, Reeves ND LH. Achilles and patellar tendinopathy loading programmes: a systematic review comparing clinical outcomes and identifying potential mechanisms for effectiveness. *Sport Med*. 2013;43:267–86.

15. Andres BM MG. Treatment of tendinopathy: what works, what does not, and what is on the horizon. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466:1539–54.
16. Kingma JJ, de Knikker R, Wittink HM, Takken T. Eccentric overload training in patients with chronic Achilles tendinopathy: a systematic review. *Br J Sports Med*. 2007;41(6):e3.
17. Jonsson P, Wahlström P, Ohberg L AH. Eccentric training in chronic painful impingement syndrome of the shoulder: results of a pilot study. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2006;14:76–81.
18. Bernhardsson S, Klintberg IH WG. Evaluation of an exercise concept focusing on eccentric strength training of the rotator cuff for patients with subacromial impingement syndrome. *Clin Rehabil*. 2011;25:69–78.
19. Maenhout AG, Mahieu NN, De Muynck M, De Wilde LF CA. Does adding heavy load eccentric training to rehabilitation of patients with unilateral subacromial impingement result in better outcome? A randomized, clinical trial. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc*. 2013;21:1158–67.
20. Camargo PR, Alburquerque-Sendín F ST. Eccentric training as a new approach for rotator cuff tendinopathy: Review and perspectives. *World J Orthop*. 2014;5(5):634–44.
21. Norrbrand L, Pozzo M TP. Flywheel resistance training calls for greater eccentric muscle activation than weight training. *Eur J Appl Physiol*. 2010;110(5):997–1005.
22. Tous-Fajardo J, Maldonado RA, Quintana JM, Pozzo M TP. The flywheel leg-curl machine: offering eccentric overload for hamstring development. *Int J Sport Physiol Perform*. 2006;1(3):293–8.
23. Gual G, Fort-Vanmeerhaeghe A, Romero-Rodríguez D TP. Effects of In-Season Inertial Resistance Training With Eccentric Overload in a Sports Population at Risk for Patellar Tendinopathy. *J Strength Cond Res*. 2016;30(7):1834–42.
24. Romero-Rodríguez D, Gual G TP. Efficacy of an inertial resistance training paradigm in the treatment of patellar tendinopathy in athletes: a case-series study. *Phys Ther Sport*. 2011;12(1):43–8.
25. Littlewood C, Malliaras P, Mawson S, May S WS. Development of a self-managed loaded exercise programme for rotator cuff tendinopathy. *Physiotherapy*. 2013;99:358–362.
26. Ludewig P BJ. Effects of a home exercise programme on shoulder pain and functional status in construction workers. *J Occ Envi Med*. 2003;60:841–9.
27. Berg, HE, Tesch P. A gravity-independent ergometer to be used for resistance training in space. *Aviat Sp Env Med*. 1994;65(8):752–6.
28. Berg, HE, Tesch P. Force and power characteristics of a resistive exercise device for use in space. *Acta Astronaut*. 1998;42(1–8):219–30.
29. Norrbrand, L, Fluckey, JD, Pozzo, M, Tesch P. Resistance training using eccentric overload induces early adaptations in skeletal muscle size. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102(3):271–81.

30. Cools AM, Dewitte V, Lanszweert F, Notebaert D, Roets A, Soetens B, et al. Rehabilitation of Scapular Muscle Balance: Which Exercises to Prescribe? *Am J Sports Med.* 2007;35(10):1744–51.
31. McClure PW, Bialker J, Neff N, Williams G, Karduna A. Shoulder function and 3-dimensional kinematics in people with shoulder impingement syndrome before and after a 6-week exercise program. *Phys Ther.* 2004;84(9):832–48.
32. Camargo PR, Albuquerque-Sendín F, Avila MA, Haik MN, Vieira A, Salvini TF. Effects of Stretching and Strengthening Exercises With and Without Manual Therapy on Scapular Kinematics, Function, and Pain in Individuals With Shoulder Impingement: A Randomized Controlled Trial. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2015;58(12):1–34.
33. Roach KE, Budiman-Mak E, Songsiridej N, Lertratanakul Y. Development of a shoulder pain and disability index. *Arthritis Care Res.* 1991;4(4):143–9.
34. MacDermid JC, Solomon P, Prkachin K. The Shoulder Pain and Disability Index demonstrates factor, construct and longitudinal validity. *BMC Musculoskelet Disord.* 2006;7:12.
35. Luque-Suarez A, Rondon-Ramos A, Fernandez-Sanchez M, Roach KE, Morales-Asencio JM. Spanish version of SPADI (shoulder pain and disability index) in musculoskeletal shoulder pain: a new 10-items version after confirmatory factor analysis. *Health Qual Life Outcomes [Internet].* 2016;14(1):32. Available from: <http://hqlo.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12955-016-0436-4>
36. Jain NB, Wilcox R, Katz JN. Clinical Examination of the Rotator Cuff. *Natl Institutes Heal.* 2013;5(1):1–26.
37. Day JM, Bush H, Nitz AJ UT. Scapular muscle performance in individuals with lateral epicondylalgia. *J Orthop Sport Phys Ther.* 2015;45(5):414–24.
38. Cools AM, Vanderstucken F, Vereecken F, Duprez M, Heyman K, Goethals N JF. Eccentric and isometric shoulder rotator cuff strength testing using a hand-held dynamometer: reference values for overhead athletes. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc.* 2016;24(12):3838–3847.
39. Joshi M, Thigpen CA, Bunn K, Karas SG PD. Shoulder external rotation fatigue and scapular muscle activation and kinematics in overhead athletes. *J Athl Train.* 2011;46(4):349–57.
40. Edmondston SJ, Wallumrød ME, Macleod F, Kvamme LS, Joebges S BG. Reliability of isometric muscle endurance tests in subjects with postural neck pain. *J Manip Physiol Ther.* 2008;31(5):348–54.
41. Eraslan U, Gelecek N GA. Effect of scapular muscle endurance on chronic shoulder pain in textile workers. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2013;26(1):25–31.
42. Nicholas MK. The pain self-efficacy questionnaire: Taking pain into account. *Eur J Pain.* 2007;11:153–63.
43. Sterud T, Johannessen HA, Tynes T. Do Work-Related Mechanical and Psychosocial Factors Contribute to the Social Gradient in Low Back Pain?: A 3-Year Follow-Up Study of the General Working Population in Norway. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41(13):1089–95.



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA